GEOCHEMISTRY, MINERALOGY AND PETROLOGY • SOFIA ГЕОХИМИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ • СОФИЯ 2006, **44**, 57-71.

Химичен състав на зонални амфиболи от Свидненските калиевоалкални магмени скали

Людмил Грозданов, Константин Узунов, Николай В. Владыкин

Lyudmil Grozdanov, Konstantin Uzunov, Nikolay V. Vladykin. Chemical composition of zonal amphiboles from Svidnya K-alkaline magmatic rocks

Abstract. The present paper reports results of mineralogical and chemical studies on zonal amphiboles from aegirine-amphibole quartz-syenites (phase III) and amphibole-aegirine syenite porphyries (phase IV) from the Svidnya K-alkaline massive. The chemical composition of the investigated rocks is similar to this of some lamproites from Fortuna district, SE Spain. Changes of chemical composition were established from the central part, via intermediate part, to the outer most external zone of the amphibole crystals, as also in the crystals of the groundmass (phase III). The changes show a for transition from magnesiokatophorite, through richterite, to magnesio-arfvedesonite. The central part via intermediate zone to the outer most zone of amphibole crystals from phase IV, as also in the crystals of the groundmass have been subjected to change in chemical composition from richterite to magnesio-arfvedesonite. The following tendencies can be deduced with respect to the process of magmatic crystallization in the phases III and IV from porphyry individuals towards those in the groundmass: increase of Fe²⁺ and Na_B and decrease of Ca and Mg content. Chemical composition of associated minerals, mainly of pyroxenes were also investigated.

Key words: Svidnya association, K-alkaline rocks, magnesiokatophorite, richterite and magnesioarfvedesonite

Addresses: L. Grozdanov, K. Uzunov - Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: k_uzun@mail.bg; N. V. Vladykin – Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, POB 4019, 664033 Irkutsk, Russia

Увод

Интересът към разкриващите се в района на село Свидня Западна Стара планина, калиевоалкални магмени скали се обуславя от техните специфични, рядко срещащи се в природата химичен и минерален състав и геохимични особености (Димитров, 1937; Минчева-Стефанова, 1951; Алексиев и др., 1966; Грозданов, 1965; Стефанова, 1966, 1976; Vladykin et al., 2001; Grozdanov et al., 2002, 2003; Dyulgerov, 2003; Дюлгеров, 2005; Cortesogno et al., 2005 и др.).

Основната, валидна и досега петроложка характеристика на калиевоалкалните магматични скали, разкриващи се в района

© 2006 • Bulgarian Academy of Sciences, Bulgarian Mineralogical Society

на с. Свидня, Западна Стара планина, е дадена в класическия труд на Димитров (1937). Описани са три групи от последователно образувани магмени скали: I фаза шонкинити, представени в малки хипоабисални интрузивни тела и жили всред включващите ги контактно променени аргилити и кварцити (ордовик); II фаза – интрузивни и жилни тела от калиевоалкални егирин-амфиболови кварцсиенити; III фаза – жилни калиевоалкални кварцтигваитпорфири, означени още като егиринамфиболови грорудитпорфири (Димитров, 1937). Установените от Грозданов (1965) жилни калиевоалкални биотит-амфиболови сиенитпорфири, които залягат в шонкинитите и дават ксенолити в калиевоалкалните кварцсиенити са отнесени към II фаза. II и III фаза на Димитров (1937) са приети за III и IV фаза (Грозданов, 1965). Според Vladykin et al. (2001) за скалите от IV фаза е възприето названието амфибол-егиринови сиенитпорфири. Отношение към номенклатурата и последователността на формиране на Свилненските магмени скали е взето и от Стефанова (1966, 1976), Вутов (1973), Стефанова и др. (1974), Foley et al. (1987), Dyulgerov (2003), Дюлгеров (2005) и Cortesogno et al.(2005).

Настоящето съобщение е продължение на изследванията на химизма на амфиболите от Свидненските магмени скали (Минчева-Стефанова, 1951; Грозданов, 1963, 1969; Грозданов и др., 1980; Grozdanov, 1982, 1999; Grozdanov, Uzunov. 2004; Grozdanov et al., 2003; Dyulgerov, 2003; Дюлгеров, 2005; Cortesogno et al., 2005. Обект на внимание са зонални амфиболи от по-ранни, по-базични диференциати на егирин-амфиболови кварцсиенити и амфибол-егиринови сиенитпорфири. В тези разновидности амфиболите са по-масово представени и са с най-добре изразен зонален строеж от известните за Свидненската асоциация скали. Отделено е внимание и на химичното характеризиране

на пироксени и някои други скалообразуващи минерали. Потърсена е аналогия на химичния състав на изследваните скали с този на лампроити от района Фортуна, ЮИ Испания, и с ултракалиеви скали.

Материали и методика

От калиевоалкални егирин-амфиболови кварцсиенити (III фаза) е взет материал от най-южното интрузивно тяло и от югоизточното интрузивно тяло. От калиевоалкални амфибол-егиринови сиенитпорфири (IV фаза) е опробвана южната жила от разкритието на левия бряг на Свидненската река. Разположението на посочените находища е видно на фиг. 1 в статията на Vladykin et al. (2001) и пояснено в текста към табл. 1.

По метода на обемния (мокър) пълен силикатен анализ са получени данни за изучаваните скали и една проба от калиев фелдшпат. Микросондовите анализи са направени с електронен микроанализатор JEOL-733. Анализирани са по лва амфиболови кристала от посочените три находища и по един дребен индивид от основната маса от III и IV фаза (фиг. 1). Приложени са методите по WDS и EDS при 15 кV в Лабораторията по електрона микроскопия и рентгенов микроанализ към Геологическия институт на БАН. Използвани са следните стандарти: кварц, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, пиролузит, санидин, апатит, рутил и албит. Анализите са проведени върху прерези перпендикулярни на оста с, като за един едър амфиболов кристал от найюжното интрузивно тяло, при който формата {010} е добре развита и върху ориентиран пререз в равнината на осите *b* и *c*.

Структурните формули на амфиболите са изчислени по компютърната програма на Yavuz (1999). За пироксени, калиев фелдшпат, биотит и илменит е приложена компютърната програма на Richard (1995). Видовата диагностика е проведена съгласно

Rocks		Aegirine-amph (II	ibole quartz I phase)	-syenites		Amphibo porphy	le-aegirine /ries (IV ph	syenite 1ase)	Lampro disti	ites from F rict, SE Sp	`ortuna ain
Sample No	5	5/1	2	42V	45V	44	22V	23V	33	35	M*
		K-feldspar		after Vli et al. (2	adykin 2001)		after VI et al. (adykin 2001)	after F et al. (1	uster 1967)	
SiO ₂	57,30	62,20	58,55	58,64	62,11	59,68	58,87	62,44	55,79	57,13	56,46
TiO_2	1,43	0,01	1,50	0,98	0,62	1,27	1,15	1,08	1,56	1,60	1,58
$Al_2 \bar{O}_3$	8,94	16,22	9,73	9,91	12,45	10,08	10,67	10,40	10,39	10,28	10,34
Fe_2O_3	6,82	2,61	4,76	3,03	5,82	6,70	5,12	5,12	1,39	1,90	1,65
FeO	2,87	0,89	5,72	2,77	0,62	2,52	1,52	1,34	4,17	4,11	4,14
MnO	0,26	0,06	0,25	0,09	0,09	0,23	0,15	0,15	0,02	0,09	0,06
MgO	5,30	0,55	4,03	5,20	1,90	3,75	3,20	2,30	9,98	9,73	9,86
CaO	4,00	1,34	3,28	3,20	0,70	3,12	2,30	1,30	2,00	3,37	2,68
BaO	0, 19	0,24	0,28	0,57	0,36	0,28	0,56	0,34	•	•	ı
SrO	•	0,06	ı	0,10	0,08	ı	0,15	0,17			•
Na_2O	4,23	1,49	3,42	1,77	1,77	3,80	3,31	3,58	4,07	2,56	3,32
K_2O	7,08	13,08	6,46	10,05	11,15	6,98	9,70	8,55	8,11	6,07	7,09
P_2O_5	0,50	0,50	0,88	0,93	0,47	0,79	0,80	0,51	0,61	0,82	0,72
CO_2	0,04	<0,01	<0,03	0,10	0,08	0,13	0,77	0,14		0,07	•
H_2O^-	0,16	0,11	0,20	•		0,16	'	•	0,33		•
${ m H_2O^+}$	0,40	0,49	1,10	2,02	1,47	0,57	1,62	2,46	1,80	2,55	2,18
F	•	•	ı	0,10	0,16	ı	0,14	0,10			•
Σ	99,52	99,85	100, 19	99,52	<u>99,69</u>	100,06	99,93	96,98	100,22	100,28	100,08
Na_2O/K_2O	0,60		0,53	0,18	0,16	0,54	0,34	0,42	0,50	0,42	0,47
K/AI	0,91	ı	0,72	1,10	0,97	0,75	0,98	0,89	0,84	0,64	0,74
Ka	1,64	I	1,30	1,39	1,20	1,34	1,49	1,46	1,49	1,05	1,27
al'	0,60		0,67	0,90	1,49	0,78	1,08	1, 19	0,67	0,65	0,66
Mg#	51,18	ı	41,80	62,76	36,64	43,88	48,20	28,14	65,09	62,87	63,97
K_2O/Na_2O	1,67	ı	1,89	5,68	6,30	1,84	2,93	2,39	1,99	2,37	2,14
Ka = (K+Na)/AI	$Mg^{\#} = 10$	0.Mg/(Mg+Fe)	, al' = Al_2O_3	/ MgO + F	$e_2O_3 + FeC$						
М* - среден хиг	иичен съст	гав на образци	33 и 35								
M* - average ch	emical con	position of sam	ples 33 and	35							
Samples from st	udied rocks	s are reserve in {	geocollectio	n at Geolo	gical Institu	ate (MR.1.0.	3.11.1-3.)				
Образци от из	следвани	те скали се ст	ьхраняват	в геокол(екциите н	а Геологи	ческия ин	нститут н	a BAH (N	IR.1.03.1	l.1-3.)

 Таблица 1. Химичен състав на скали и калиев фелдипат (тегл. %)

 Table 1. Chemical composition of rocks and K-feldspar (wt. %)



Фиг. 1 а, b. Снимки в обратно отразени елетрони на прерези от егирин-амфиболов кварцсиенит (III фаза, обр. № 2) с два типа призматични {110} + {010} амфиболови кристали: едри кристали (Amph 1) и дребни зърна от основната маса (Amph 2); зоналността при едрите амфиболови кристали е по-добре изразена в b

Fig. 1 a, b. BSE images of a section of aegirine-amphibole quartz-syenite (III phase, sample No 2) with two type prismatic $\{110\} + \{010\}$ amphibole crystals: large early crystals (Amph 1) and smaller grains of the groundmass (Amph 2); the zoning of the large early crystals is better expressed in b

класификациите на Morimoto et al. (1989), Rieder et al. (1998) и Leake et al. (2004).

Бележки за минералния и химичния състав на изследваните скали

В изучените находища калиевоалкалните егирин-амфиболови кварцсиенити (III фаза) са левкократни, светлобежави, среднозърнести с хипидиоморфнозърнеста структура при минимално участие на основна маса. Главни скалообразуващи минерали са калиев фелдшпат - около 65-70% и амфибол - около 15-20%. Второстепенен минерал е моноклинен пироксен - от порядъка на 5-10%. Характерен акцесорен минерал е апатит. В незначителни количества се установяват кварц, албит (вероятно вторичен), и изключително рядко кородиран биотит и отделни зърна от илменит. Под електронен микроскоп се наблюдават единични плочести, заоблени зърна от минерал със състав TiO₂ и размери около 5 µm. Заслужава да се отбележи, че досега в Свидненските магмени скали не е установяван рутил или друга модификация на TiO₂.

Калиевоалкалните амфибол-егиринови сиенитпорфири (IV фаза) на цвят са сивозеленикави. Структурата им е холокристалинна, порфирна, с хипидиоморфнозърнеста основна маса. Главни минерали са калиев фелдшпат - около 65% и моноклинен пироксен - около 20-25%. Второстепенен минерал е амфибол - около 5-10%. Калиевият фелдшпат, моноклинният пироксен и амфиболът са представени както в порфирната генерация така и в основната маса. От акцесорните минерали най-добре е представен апатит. В незначителни количества се установяват кварц, титанит и съвсем рядко биотит. От приведените данни проличава известно сходство в минералния състав на описаните скали.

Получените данни за химичния състав на пироксените (без тези от основната масса) са показателни за минералния вид егирин-авгит (табл. 2 и 3). Това е в съответствие с публикувани от Dyulgerov (2003), Дюлгеров (2005) и Cortesogno et al. (2005) данни. Пироксенът от III фаза показва минимални изменения в зоналността. Установява се увеличаване на Na и намаляване на Са. Количествата на Mg Fe²⁺ и Fe³⁺ практически не се изменят. При пироксена от IV фаза, за който има данни и за междинната зона, проличават следните особености. Са и Mg се увеличават в междинната зона, докато Na в нея намалява. В периферията тенденцията е обратна съдържанието Na и Fe³⁺ се повишава, а на Са и Мд по-забележимо намалява. По всяка вероятност, тези неравномерни изменения се дължат на промени в условията на образуване в хода на изнасяне на магмата продуцирала скалите на IV фаза. При сравнения на получените данни за ядрата на изучаваните пироксени от III и IV фаза се установява следното. При пироксена от IV фаза Mg е повече, Fe³⁺ е по-малко и количествата на Na и Ca са еднакви. Вероятно това се дължи на по-дълбочинното образуване на порфирния пироксен от IV фаза. В периферията на изучаваните пироксени количествата на Na са еднакви, като в порфирния пироксен от IV фаза Са и Mg са минимално по-високи, а Fe^{3+} е забележимо по-малко. Химичният състав на калиевия фелдшпат от III фаза (табл. 1) е близък до теоретичния при частично участие и на албитов компонент $(K_{0.79}Na_{0.14}Ca_{0.04}Mg_{0.04}Fe^{2+}_{0.04})_{1.05}$ $(Si_{2.96}Al_{0.91}Fe^{3+}_{0.09})_{3.96}O_8.$

В IV фаза калиевият фелдшпат е също близък до теоретичния при практическо отсъствие на албитов компонент и незначителни изменения в зоналността –

 $(K_{0,88}Na_{0,02}Fe^{2+}_{0,04})_{0,94}(Si_{3,03}Al_{0,96})_{3,99}O_8$ и $(K_{0,90}Na_{0,01}Ba_{0,01}Fe^{2+}_{0,01})_{0,93}(Si_{3,00}Al_{1,01})_{4,01}O_8$. Биотитът от IV фаза (табл. 3) показва минимални изменения в състава от центъра към периферията, - съответно

 $(K_{0,85}Na_{0,03}Ba_{0,02})_{0,90}(Mg_{1,71}Mn_{0,02}Fe^{2+}_{0,88}Ti_{0,25})_{2,86}$ $(Si_{3,02}Al_{0,78}Fe^{3+}_{0,20})_{4,00}O_{10}(OH)_2$ и

 $(K_{0,85}Na_{0,01}Ca_{0,01}Ba_{0,01})_{0,88}(Mg_{1,70}Mn_{0,02}Fe^{2+}_{0,85})_{10,27})_{2,84}(Si_{3,00}Al_{0,88}Fe^{3+}_{0,12})_{4,00}O_{10}(OH)_{2}.$

Химично са характеризирани два индивида от акцесорен илменит, представени в зърна с овално неправилни очертания и размери 15-20 μ m. Структурните формули са: (Fe_{0.68}Mn_{0.46}Mg_{0.01}Na_{0.01}Si_{0.01}Ti_{0.92})_{2.09}O₃ и (Fe_{0.66}Mn_{0.35}Mg_{0.01}Na_{0.02}Ca_{0.01}Si_{0.01}Ti_{0.97})_{2.03}O₃. Прави впечатление значителното участие на пирофанитова молекула. Това отнася изследвания илменит към разновидността манганов илменит.

Освен сходство в минералния състав, разглежданите скали показват близост и по своя химичен състав (табл. 1). Според изискванията на петрографската класификация (Богатиков, 1983) те принадлежат към семейство алкални сиенити. Изискванията са: SiO₂ 53-66% и сума на алкалиите 7,6-14%. Понеже не съдържат плагиоклаз, изучаваните скали от трите скални вида в това семейство се отнасят към вида собствено алкален сиенит. Отношението Na₂O/K₂O в интервала 0,4-1 е показателно за принадлежност на изследваните скали към калиево-натриевата серия. Спрямо изискванията за al = 0,75-1, Ka = 0,46-0,8 и Al₂O₃ 13,2-20,4 тегл.% са налице отклонения. При изследваните скали Ka >1, a al и съдържанието на Al₂O₃ е по-ниско (табл. 1).

С оглед уточняване на позицията на изследваните скали в хода на диференциационите процеси на табл. 1 за сравнение са приведени данни от Vladykin et al. (2001), показателни за основните тенденции в

		7	pyroxene	~		K-tela	spar	10IQ	tite	Ilmer	nte	T102
No	2	2	44	44	44	44	44	44	44	, 1	<i>с с</i>	
	core	rim	core	mediate	rim	core	rim	core	rim	1-7	7-7	
SiO_2	51,71	51,38	54,84	55,00	55,72	66,11	65,04	40,54	40,88	0,33	0,42	0,46
TiO_2	1,42	1,70	1,35	0,76	1,71	0,00	0,02	4,49	4,81	51,80	50,80	99,12
Al_2O_3	1,17	1,00	0,19	0,05	0,00	17,72	18,69	8,89	10,15	0,00	0,00	0,08
Fe_2O_3	25,38	25,64	'	'	'	ı	ı	ı		ı	'	·
FeO	'	·	17,03	15,63	19,36	1,14	0,35	17,39	15,77	34,31	31,12	0,90
MnO	0,48	0,27	0,36	0,44	0,51	0,00	0,00	0,32	0,31	13,06	16,41	0,00
MgO	3,98	3,88	6,98	8,37	4,89	0,00	0,00	15,36	15,49	0,11	0,18	0,20
CaO	7,75	6,51	8,75	12,26	7,86	0,00	0,03	0,05	0,16	0,10	0,16	0,34
Na_2O	8,90	9,41	8,47	7,05	9,76	0,22	0,15	0,19	0,08	0,26	0,32	0,27
K_2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,07	15,30	8,97	9,04	0,00	0,04	0,03
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,50	0,80	0,48	0,00	0,00	
Σ	99,79	99,79	97,97	99,56	99,81	100,37	100,08	97,00	97,17	99,97	99,45	101,40
$Fe_2O_3^*$	20,57	21,40	15,50	14,79	17,58	·	ı	·	•			
FeO*	4,32	3,81	3,08	2,32	3,54		·	·			ı	
Σ^*	99,30	99,36	99,52	101,04	101,58		ı	·		'	ı	·
² . e ₂ O ₃ *, FeO	ж И ∑* - п	преизчисл	ени	10,101	00,101							

Таблица 2. Представителни микросондови анализи на минерали (тегл. %)

Table 2. Representative microprobe analyses of minerals (wt. %)

Таблица 3. Структурни формули и Q-J параметри на изследваните пироксени

Table 3. Structural	formulae	and Q-J	parameters	of
the studied pyroxer	ies			

No	2	2	44	44	44
INO	core	rim	core	mediate	rim
Fe ²⁺	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Mn	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Ca	0,32	0,27	0,35	0,48	0,31
Na	0,65	0,70	0,61	0,51	0,70
M2	1,00	1,00	0,96	0,99	1,01
Al	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,59	0,62	0,44	0,41	0,49
Ti	0,04	0,05	0,04	0,02	0,05
Mg	0,23	0,22	0,39	0,46	0,27
Fe ²⁺	0,12	0,10	0,10	0,07	0,11
Mn	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
M1	1,00	1,00	0,99	0,98	0,94
Si	1,97	1,97	2,05	2,03	2,06
Al	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
Т	2,00	2,00	2,05	2,03	2,06
Q	0,68	0,61	0,84	1,01	0,69
J	1,30	1,40	1,22	1,02	1,40

 $Q = Ca + Mg + Fe^{2+}; J = 2Na$

развитието на тези процеси.

Подбрани са състави от ранен и късен диференциат, съответстващи на преобладаващите по обем скали от III и IV фаза. От сравняването на стойностите за Mg# и в известна степен за SiO₂ проличава по-ранна позиция на изследваните скали при която мафитите са повече. Особено характерно е съществено намаляване на Mg# с увеличаване на съдържанието на SiO₂ (табл. 1). Показателно за скалите от III фаза е забележимо увеличаване на Al₂O₃ и K₂O, обусловено от повишаване ролята на калиевия фелдшпат и намаляване ролята на мафитите и СаО в края на диференциацията. При скалите от IV фаза с изключение на SiO₂, размахът на диференциация е по-ограничен и началото на този процес започва с забележимо по-ниски стойности на Мд#.

Освен посочените различия спрямо традициония вид алкален сиенит, специфичният характер на изследваните скали,

както и в цялост на Свидненските магмени скали е близостта на техния химичен състав с този на скали от групата на лампроитите. Според Димитров (1937) повечето от разновидностите на I фаза наподобяват скали от рода на юмилити и орендити. Според Стефанова (1966) всички описани от Димитров (1937) скали са хетероморфни с уайомингити. Принадлежността на скалите от Свидненската асоциация към лампроити е подробно аргументирана от Стефанова (1976). По данни от Стефанова (1966), Foley et al. (1987) причисляват скалите от Свидненската асоциация към група IV на ултракалиевите скали, която е преходна на основните три групи, съответно група I лампроити, група II - камафугити и група III - скали от орогенни области. Според Vladykin et al. (2001) и Cortesogno et al. (2005) Свидненските магмени скали са близки до лампроити, но не може да бъдат считани за такива. Предложените от Dyulgerov (2003) и Дюлгеров (2005) нови скални названия също изключват принадлежност към лампроити.

Отношение към класификацията на изследваните скали и като цяло на скалите от III и IV фаза има и въпросът за тяхната принадлежност към ултракалиевите скали. От приведените на табл. 1 данни проличава, че ранните диференциати, както на III така и на IV фаза (обр. № 42V и 22V) отговарят на изискванията за ултракалиеви скали, формулирани от Foley et al. (1987) – K₂O >3 тегл. %, MgO >3 тегл. % и K₂O/Na₂O >2. При изследваните скали K₂O/Na₂O <2, а в късните диференциати (обр. № 45V и 23V) съдържанието на MgO е твърде ниско.

На свой ред от табл. 1 проличава известна близост на изследваните скали с две разновидности на лампроити за района на Фортуна, ЮИ Испания по Fuster et al. (1967). Особено показателно е сравнението с изчисления за тях среден състав (табл. 1). Различия са налице спрямо Fe₂O₃, FeO и особено спрямо MgO, което на свой ред

обуславя по-високи стойности за Mg# от това при изучаваните скали. По всяка вероятност това се дължи на по-дълбочинния генезис на продуциралата ги магма. Повишеното съдържание на MgO заедно с високата водонаситеност, обуславя обилие на флогопит, което води до ограничено участие на калиев фелдшпат представен като санидин. Na се включва в амфибола, който е определен микроскопски като рихтерит или арфведсонит (Fuster et al., 1967; Foley et al., 1988). Възможно е част от Na да се включва в санидина.

Известна близост на скалите от III и IV фаза с лампроити проличава и от съотношението Al₂O₃/CaO (фиг. 2). Показателно е и повишеното съдържание на Mn в илменита от егирин-амфиболовите кварцсиенити. Както е посочено от Каменов (2003, с. 400) присъщо за лампроитите е повишеното съдържание на Мп в редица минерали включително и илменит, въпреки ниското съдържание на МпО в този тип скали.

Парагенезата от биотит и амфибол в биотит-амфиболовите сиенитпорфири (II фаза) и участие само на амфибол в жилна калиевоалкална скала от Сеславската асоциация и парагенезата от амфибол и пироксен в егирин-амфиболовите кварцсиенити дава основание за разграничаване на три степени на постепенно намаляваща водонаситеност (Grozdanov et al., 2003). Към третата степен на понижена водонаситеност могат да се причислят и амфибол-егириновите сиенит порфири. Допустима е при тях дори и още по-ниска водонаситеност, като се има предвид и по-голямото участие на пироксен и по-малкото на амфибол.



Фиг. 2. $Al_2O_3 - CaO$ диаграма на скали от III и IV фаза (табл. 1), по Yanev et al. (2003) Fig. 2. $Al_2O_3 - CaO$ diagram of the rocks of III and IV phase (Tabl. 1), after Yanev et al. (2003)

Минералогия и химичен състав на амфиболите

Амфиболовите кристали в изучаваните скали са с призматичен хабитус и неправилни очертания. Рядко се установяват {110} и {010} форми. Най-едри са кристалите в изучения образец от III фаза от найюжното тяло, където дължината им достига 5-7 mm. На места се срещат промени по пукнатини или с петнест характер. По оптични данни проличава постепенно изразена зоналност, която се изразява в различия по отношение на оцветяване, ъгъл на косо потъмнение и 2V. При наблюдение под електронен микроскоп в режим на отразени електрони (фиг. 1) също проличава плавна зоналност. В подбрания образец от егирин-амфиболови кварцсиенити от югоизточното интрузивно тяло и от амфиболегиринови сиенитпорфири от разкритието на левия бряг на Свидненската река е представена сравнително добре изразена основна маса. В нея се наблюдават съвсем дребни, понякога с добре изразен идиоморфизъм амфиболови кристалчета, оградени от{110} и {010} (фиг. 1).

Както от данните от микросондовите анализи, така и в по-отчетлива форма от структурните формули на изследваните амфиболи (табл. 4) проличава известна близост в техния химичен състав.

Това явно се обуславя от сходството на химичния състав на съдържащите ги скали, което се дължи на плавен преход и дори частично припокриване на съдържанието на отдел-ните компоненти при този преход от III към IV фаза (Grozdanov et al., 2002). Найзабележимите изменения в състава на амфиболите се свеждат до увеличаване на Na₂O и FeO^T и намаляване на MgO и CaO. Останалите компоненти варират неравномерно в съвсем тесни предели. При амфиболите от III фаза е налице близост в съдържанията на компонентите от ядрата към външните зони и амфибола от основната маса. При двата порфирни амфиболови кристала от IV фаза се установяват близки количества на компонентите за ядрата и междините части. Вероятно това се дължи на състава на обкръжаващата отделните кристали подхранваща среда.

От структурните формули проличават следните особености. А-позиция е изцяло или в значителна степен заета. Участието на К е добре изразено, достигащо в по-ранните състави до над 0,50 атома. Характерно за Вместата в развитието на зоналността е повишаване на Na_B и намаляване на Ca, като първоначалното съдържание на тези два компонента е приблизително еднакво. В С-местата се осъществява постепенно заместване на Mg от Fe^{2+} , като в пределите на около един атом, отношението Mg/(Mg + Fe^{2+}) е над 0,50, рядко и 0,50. Посочените изменения в В-местата и С-местата са найплавни при амфибола от IV фаза, докато при амфибола от III фаза се осъществяват по-резки изменения (фиг. 3 и 4). Fe³⁺ показва спорадично повишени съдържания. Частично зоналността се проявява и чрез минимално нарастване на Si при допълване на Т-местата с Al и отчасти с Ti. В амфиболовите кристали от основната маса са проявени крайни форми на посочените изоморфни тенденции. Вариациите в Si са по-отчетливо изразени в амфибола от найюжното интрузивно тяло (III фаза), където скалата е по-едрозърнестта и съответно кристализационият процес е протекъл подълго във времето. Осъществява се преход от магнезиокатофорит (Na_a + K) ≥0,50, $Mg/(Mg+Fe^{2+}) > 0,50, (Ca + Na_B) \ge 1,00, 0,50 <$ Na_B<1,50 и Si <7,50 през рихтерит (Na_a + K) $\geq 0,50$, Mg/(Mg+Fe²⁺) >0,50, (Ca + Na_B) $\geq 1,00$, $0,50 < Na_B < 1.50$ и Si >7,50 до магнезиоарфведсонит (Na_a + K) ≥ 0.50 , Mg/(Mg+Fe²⁺) >0,50, (Са + Nа_B) ≥1,00, Nа_B≥1,50 и Si >7,50. При амфибола от III фаза от югоизточното тяло измененията в химичния състав са изцяло в пределите на рихтерит. Същото се отнася и за амфиболовите кристали от

Sample	5	5	5	5	5	5	5*	5*
No	core	core	mediate	mediate	rim	rim	core	rim
110	core	core	$\ axis b\ $	laxis c	$\ axis b\ $	$\ axis c$	core	11111
SiO ₂	52.6	52.5	53.0	52.8	54.7	54.1	53.44	54.78
TiO	1.6	1.8	2.4	2.1	2.8	2.8	1.89	2.88
Al_2O_3	1.4	1.3	1.3	0.7	0.3	0.2	2.98	1.70
FeOT	9.5	9.6	11.1	10.4	16.9	16.6	8.09	14.01
MnO	0,2	0,3	0,2	0.3	0,8	0,7	0,11	0,83
MgO	18,9	18,7	17,9	17.7	13.2	12,9	17,83	12,07
CaO	6,1	6,4	5,6	6,0	1,1	1,4	6,20	1,15
Na ₂ O	5,2	5,1	5,6	5,1	8,1	7,7	5,49	7,99
K ₂ Õ	2,8	2,8	2,6	2,7	2,1	2,0	2,88	2,97
Total	98,4	98,5	99,8	97,7	100,1	98,5	98,90	97,57
К	0,51	0,51	0,47	0,49	0,38	0,37	0,52	0,40
Na	0,56	0,58	0,46	0,41	0,40	0,37	0,45	0,43
ΣΑ	1,07	1,08	0,93	0,90	0,78	0,74	0,97	0,84
Na	0,87	0,82	1,09	1,01	1,83	1,78	1,06	1,82
Ca	0,93	0,97	0,84	0,92	0,17	0,22	0,94	0,18
Mn	0,02	0,04	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,18	0,17	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΒ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Mg	3,99	3,96	3,75	3,79	2,79	2,77	3,76	2,62
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,09	0,01	0,10
Fe ²⁺	0,22	0,67	0,89	1,01	1,30	1,37	0,90	1,58
Fe ³⁺	0,73	0,31	0,36	0,20	0,70	0,63	0,06	0,12
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,26
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,13	0,20	0,32
ΣC	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,99	4,99	5,00
Si	7,45	7,46	7,45	7,58	7,76	7,80	7,57	7,97
Al	0,23	0,22	0,22	0,12	0,05	0,03	0,43	0,03
Ti	0,17	0,19	0,25	0,23	0,19	0,17	0,00	0,00
ΣΤ	7,85	7,87	8,00	7,93	8,00	8,00	8,00	8,00
mg	0,91	0,89	0,86	0,84	0,71	0,70	0,81	0,61
Na	1,43	1,40	1,53	1,42	2,23	2,15	1,51	2,25
Al	0,23	0,22	0,22	0,12	0,05	0,03	0,50	0,29
Fe	1,13	1,14	1,30	1,24	2,00	2,00	0,96	1,70

Таблица 4. Микросондови анализи (тегл. %) и структурни формули на изследваните амфиболи

66

Таблица 4. Продължение

Tabl	le 4.	Continued

Sample	2*	2*	2*	2*	2*	2	2	2
No	core	core-	mediate	rim	groundmass	core	mediate	rim
		mediate						
SiO ₂	53,13	52,39	52,59	51,87	52,13	52,9	52,6	53,4
TiO ₂	2,07	2,18	2,13	2,50	2,40	1,9	1,7	2,2
Al_2O_3	2,57	2,89	2,30	1,88	2,12	0,9	1,0	0,6
FeO ^T	11,97	13,07	20,38	20,13	20,97	14,0	17,4	21,9
MnO	0,26	0,47	0,70	0,72	0,54	0,4	0,4	0,5
MgO	14,98	13,94	9,88	9,49	9,48	16,0	12,6	10,1
CaO	6,08	6,06	3,83	3,89	3,92	5,9	4,8	3,4
Na ₂ O	4,45	4,36	5,81	5,97	5,96	4,8	5,6	6,4
K_2O	2,89	3,00	1,90	1,95	1,62	2,3	1,7	1,8
Total	98,40	98,36	99,51	98,40	99,14	99,1	97,8	100,2
Κ	0,53	0,56	0,35	0,37	0,30	0,42	0,32	0,33
Na	0,18	0,17	0,24	0,34	0,32	0,35	0,34	0,38
ΣΑ	0,71	0,73	0,59	0,71	0,62	0,77	0,66	0,71
Na	1,06	1,06	1,40	1,38	1,38	0,98	1,25	1,47
Ca	0,94	0,94	0,60	0,62	0,62	0,90	0,75	0,53
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
ΣΒ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Mg	3,22	3,02	2,14	2,10	2,07	3,40	2,75	2,19
Mn	0,03	0,06	0,09	0,09	0,10	0,00	0,05	0,06
Fe ²⁺	1,28	1,44	1,85	2,12	2,01	0,77	1,51	1,94
Fe ³⁺	0,16	0,15	0,63	0,38	0,57	0,83	0,62	0,72
Al	0,09	0,10	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
Ti	0,22	0,24	0,23	0,28	0,26	0,00	0,07	0,09
ΣC	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Si	7,65	7,61	7,66	7,70	7,65	7,53	7,71	7,75
Al	0,35	0,39	0,34	0,30	0,35	0,15	0,17	0,10
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,12	0,15
ΣΤ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,88	8,00	8,00
mg	0,72	0,68	0,54	0,50	0,51	0,80	0,65	0,53
Na	1,24	1,23	1,64	1,72	1,70	1,33	1,59	1,80
Al	0,44	0,49	0,40	0,33	0,37	0,15	0,17	0,10
Fe	1.44	1,59	2,18	2,50	2,58	1,67	2,13	2,66

Таблица 4. Продължение

Table 4.	Continued

Sample	44*	44*	44*	44*	44*	44	44	44
No	core	core-	mediate	rim	groundmass	core	core	rim
		mediate						
SiO ₂	54,01	55,85	53,82	56,29	56,94	53,2	53,5	54,2
TiO ₂	2,13	1,7	2,66	2,48	1,86	3,2	2,7	2,7
Al_2O_3	1,21	0,82	1,01	0,00	0,07	0,7	0,6	0,3
FeO ^T	8,34	8,34	10,12	11,63	10,73	13,9	14,0	15,4
MnO	0,31	0,39	0,28	1,47	0,84	0,2	0,9	1,4
MgO	18,02	18,42	16,41	14,20	15,87	15,2	14,9	13,4
CaO	6,11	5,97	5,25	0,88	3,10	3,6	3,0	1,1
Na ₂ O	4,76	5,18	5,51	8,40	6,89	6,8	7,0	8,2
K ₂ O	2,88	2,75	2,82	2,19	2,41	2,4	2,6	2,1
Total	97,77	99,42	97,87	97,54	98,71	99,3	99,2	99,0
K	0,52	0,49	0,52	0,40	0,43	0,44	0,47	0,38
Na	0.25	0,30	0.37	0,48	0,58	0,44	0,40	0,45
ΣΑ	0,77	0,79	0,89	0.88	1,01	0,88	0.87	0.83
Na	1,07	1,10	1,17	1,86	1,83	1,45	1,54	1,83
Ca	0,93	0,90	0,81	0,14	0,17	0,55	0,46	0,17
Mn	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΒ	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Mg	3,83	3,84	3,53	3,05	3,02	3,24	3,18	2,87
Mn	0,04	0,05	0,03	0,18	0,18	0,02	0,11	0,17
Fe ²⁺	0,77	0,80	1,15	1,16	1,26	1,12	0,99	1,03
Fe ³⁺	0,22	0,18	0,07	0,24	0,25	0,55	0,68	0,81
Al	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
Ti	0,13	0,14	0,22	0,27	0,26	0,07	0,04	0,11
ΣC	4,99	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,99
Si	7,70	7,82	7,76	8,00	8,00	7,61	7,65	7,78
Al	0,20	0,14	0,17	0,00	0,00	0,12	0,10	0,05
Ti	0,10	0,04	0,07	0,00	0,00	0,27	0,25	0,18
ΣΤ	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
mg	0,83	0,83	0,75	0,72	0,71	0,74	0,76	0,73
Na	1,32	1,40	1,54	2,35	2,41	1,89	1,94	2,28
Al	0,20	0,14	0,17	0,10	0,03	0,12	0,10	0,05
Fe	1.00	0.98	1.22	1.40	1.51	1.67	1.67	1.84

mg = Mg/(Mg+Fe²⁺) * данни по EDS * date by EDS



Фиг. 3. $Na_B - Ca$ диаграма на изследваните амфиболи

Fig. 3. $Na_B - Ca$ diagram of the studied amphiboles

основната маса. За амфибола от IV фаза е характерен преход от рихтерит до магнезиоарфведсонит, към който принадлежат и амфиболовите индивиди от основната маса (фиг. 5). Част от ранните състави са калиеви разновидности (K >0,50), а всички останали състави са калийсъдържащи (K = 0,25-0,49).



Фиг. 4. Fe²⁺– Мд диаграма на изследваните амфиболи

Fig. 4. Fe^{2+} – Mg diagram of the studied amphiboles

Като цяло данните за химичния състав на изследваните амфиболи показват добре изразен непрекъснат специфичен изоморфен тренд обхващащ минералните видове



Фиг. 5. Si – Na_B диаграма на изследваните амфиболи

Fig. 5. Si – Na_B diagram of the studied amphiboles

магнезиокатофорит, рихтерит и магнезиоарфведсонит. Изразява се в нищожни изменения на Al и Si при прехода от магнезиокатофорит към рихтерит и постепенно намаляване на Ca и увеличаване на Na_B при прехода от рихтерит към магнезио-арфведсонит. Осъществява се преход от натриевокалциеви към натриеви амфиболи.

Литература

- Алексиев, Е., М. Стефанова, Р. Бояджиева. 1966. Геохимични изследвания на редкоземните елементи в Свидненските калиевоалкални скали. *Тр. Геол. Бълг., сер. Геохим., минерал.* и петрогр., **6**, 49-66.
- Богатиков, О.А. 1983. Магматические породы. Классификация, номенклатура, петрография. М., Наука, **2**, 370-768.
- Вутов, И. 1973. Петрографски и петрохимични изследвания на алкални скали в Софийската котловина около Сеславци, Бухово и Свидня. *Год. ВМГИ, София*, **19**, 2, 115-149.

- Грозданов, Л. 1963. Принос към изучаване химизма на свиднеита и условията на неговото образуване. *Год. ГУГОЗН*, **14**, 101-107.
- Грозданов, Л. 1965. Последователност в образуването и кристализацията на Свидненските калиево-алкални магмени скали. Изв. Геол. инст., 2, 383-398.
- Грозданов, Л. 1969. Кристалохимични и рентгенографски изследвания на някои от амфиболите на Свидненските калиевоалкални магмени скали. Изв. Геол. инст., сер. Геохим., минерал. и петрогр., 18, 123-143.
- Грозданов, Л., Т. Томов, С. Асенов. 1980. Химизъм, рентгенография и мьосбауерови спектри на натриево-калциеви и алкални амфиболи от районите на селата Сеславци и Свидня, Софийско. *Геохим., минерал. и петрол.*, **13**, 45-60.
- Димитров, С. 1937. Принос към изучаването на нашите калиево-алкални скали. Еруптивните скали при с. Свидня. Год. Соф. унив., физмат. фак., **33**, 3 - ест. история, 291-343.
- Дюлгеров, М.М. 2005. Калиевоалкален магматизъм от Стара планина, България: петроложко изследване на Буховско-Сеславския,

Свидненския и Шипченския плутон. С., *Соф. Унив., Univ. Paris XI,* автореферат на докторска дисертация, 35 с.

- Каменов, Б. 2003. Магматична петрология. С., Соф. Унив., 871 с.
- Минчева-Стефанова, Й. 1951. Върху алкалните амфиболи от калиевоалкални кварцсиенити при с. Свидня, Софийско. Изв. Геол., Геогр. и Хим., инст., БАН, **4**, 41-57.
- Стефанова, М. 1966. Петрохимични особености на Свидненските калиевоалкални скали. Изв. Геол. инст., сер. Геохим., минерал. и петрогр., 15, 191-203.
- Стефанова, М. 1976. Сравнительная петрохимическая характеристика палеозойских калиевощелочных магматических пород в Болгарии. *Geol. Balcanica*, **6**, 1, 61-83.
- Стефанова, М., М. Павлова, Б. Амов. 1974. Геохимия и изотопен състав на оловото в калиевоалкални скали с лампроитов химизъм. *Минерогенезис.* С., БАН, 333-348.
- Cortesogno, L., L. Gaggero, L. Grozdanov, S. Yanev, L. Buzzi, F. Slejko. 2005. Carboniferous peralkalic polyphase intrusions in the Bulgarian segment of the Variscan belt. EGU 2005 Meet. Vienna, Geophys. Research, Abstracts, 7.
- Dyulgerov, M.M. 2003. Comparative mineralogical study on pyroxenes and amphiboles from Variscan potassic-alkaline magmatism in Stara Planina Mts., Bulgaria. Bulg. Geol. Soc., Ann. Sci. Conf. "Geology 2003", Sofia, December 11-12, Abstracts, 27-29.
- Foley, S.F., S. Capedri, A.J. Crawford. 1988. Petrogenesis and conditions of crystallization of Spanish lamproitic rocks. *Canad. Mineral.*, 26, 67-79.
- Foley, S.F., G. Venturelli, D.H. Green, L. Toscani. 1987. The ultrapotassic rocks: Characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth Sci. Rev.*, 24, 81-134.
- Fuster, J.M., P. Gastesi, J Sagredo, M.L. Fermoso. 1967. Las rocas lamproiticas del Se. de Espana. *Estud. Geol.*, 23, 1-2, 35-69.

- Grozdanov, L. 1982. Crystallochemistry of amphiboles from the potassium-alkaline igneous rocks from the village of Svidnya, Western Stara Planina Mountain. *Papers 13*th General IMA, Meet. Varna, 119-120.
- Grozdanov, L., K. Uzunov. 2004. Isomorphism tendencies in zonal amphiboles from Svidnya Kalkaline magmatites. *Bulg. Geol. Soc. Ann. Sci. Conf. "Geology 2004", Sofia, Abstracts*, 27-28.
- Grozdanov, L., K. Uzunov, A. Andreev. 2003. New data of the heteromorphic relationships of Kalkaline magmatites in the area of Seslavtsi and Svidnya Village, Sofia District. Bulg. Geol. Soc., Ann. Sci. Conf. "Geology 2003" Sofia, Abstracts, 46-48.
- Grozdanov, L., N.V. Vladykin, K. Uzunov, A. Andreev. 2002. Differentiation tendencies in Svidnya potassic-alkaline magmatites. *Geol. Balcanica*, 32, 2/4, 93-96.
- Leake, B.E. et al. 2004. Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. *Eur. J. Mineral.*, **16**, 1, 190-195.
- Morimoto, N. et al. 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Canad. Mineral.*, 27, 143-156.
- Rieder, M. et al. 1998. Nomenclature of the micas. *Canad. Mineral.*, **36**, 3, 905-912.
- Vladykin, N.V., L.A. Grozdanov, I.K. Bonev. 2001. Chemical composition and geochemical characteristic of the Svidnya magmatic potassicalkaline association, Western Stara Planina Mountain. *Geochem. Mineral. Petrol.*, 38, 3-22.
- Yanev, Y., B. Boev, C. Doglioni, F. Innocenti, P. Manetti, S. Lepitkova. 2003. Neogene ultrapotassic-potassic volcanic association in the vardar zone (Macedonia). C. R. Acad. bulg. Sci., 56, 4, 53-58.
- Yavuz, F. 1999. A revised program for microprobederived amphibole analyses using the IMA rules. *Computers & Geosciences*, 25, 8, 909-927.

Приета декември 2004 г. Accepted December, 2004