

Петрология на Чучулигинските I-тип гранитоиди, Източни Родопи

Станислав Стойков, Божидар Маврудчиев

Stoykov, S., B. Mavrudchiev. 1997. Petrology of Chuchuliga I-type granitoides, Eastern Rhodopes. — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 32, 101-116

Chuchuliga graniteoides are located at the south of Madjarovo. They build up a single pluton with intrusive contacts on the area of 12 km², elongated in SES direction, intruded in the metamorphic rocks of Rhodopian group. The granitoides are composed of plagioclase, K-feldspar (orthoclase to middle microcline), quartz, biotite (Al^{IV}0.09-0.33, Fe/Fe+Mg 0.53-0.85) muscovite, magnetite, titanite, apatite, zircon, secondary allanite, quartz, sericite, epidote, chlorite. According to their chemical composition they belong to family of granites (Ca-alkaline granites, leucogranites, mid-alkaline granites, mid-alkaline leucogranites). They belong to high-K Ca-alkaline and Ca-alkaline series. The amount of Rb varies from 88 to 142 ppm, Sr 245÷760 ppm, and Ba 140÷970 ppm. According to R1/R2 diagram of Batchelor and Bowden (1988) the Chuchuliga granitoides fall in the field of anatectic magmatism (syn-orogenic). On the other hand, according to Pearce et al. (1984) Rb vs. SiO₂ diagram, they are classified as syn-collision granites. Calculated temperatures using two-feldspars thermometer of Stormer at given pressure (2÷8kbar) vary between 380 and 540°C and according to Fuhrman, Lindsley (1988) - between 440 and 480°C. These temperatures show the last solid phase reequilibrium of mineral paragenesis. Using criteria of Chappell, White (1974), White, Chappell (1988) and Barton, Chappell (1994) Chuchuliga granitoides belong to I-type, produced by partial melting of older igneous rocks.

Key words: I-type granites, Eastern Rhodopes, collision granites

Address: S. Stoykov — Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia;
 B. Mavrudchiev — Sofia University 'St. Kliment Ohridski', 1540 Sofia

Ключови думи: I-тип гранити, Източни Родопи, колизионни гранити

Адрес: С. Стойков — Българска академия на науките, Геологически институт, 1113 София;
 Б. Маврудчиев — Софийски университет „Св. Климент Охридски“, 1540 София

Увод

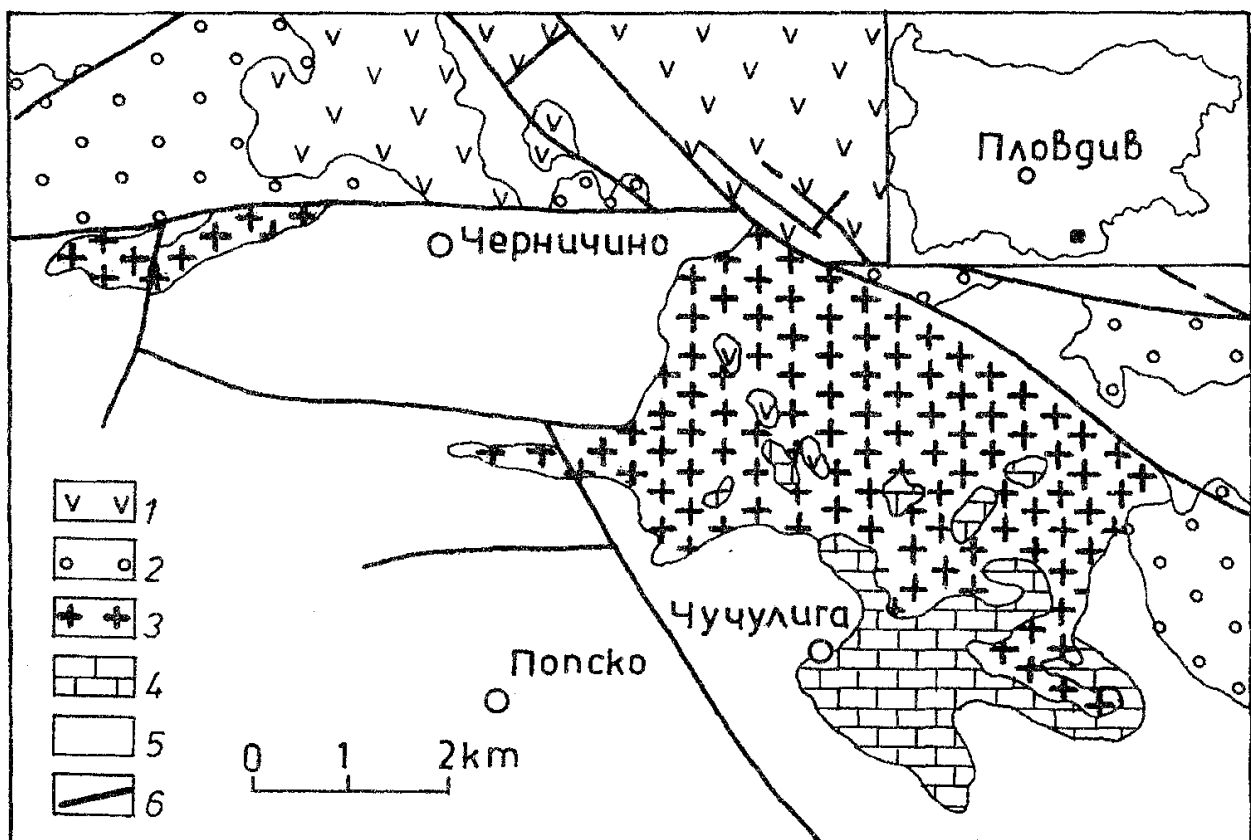
В пределите на Източните Родопи се разкриват редица доприабонски гранитоидни тела (Черничински, Чифлишки, Чучулигински, Розински и др.). Настоящата работа е посветена на едно от тях — на Чучулигинските гранитоиди.

Те са открити при картиране от Л. Афанасиева и др. през 1953 г. (непубликуван отчет, Комплексна геоложка експедиция). Названието Чучулигин-

ски гранити е въведено от И в а н о в (1961). Кратка геоложка характеристика дават Б о я н о в и др. (1963). Б. М а в р у д ч и е в и др. (1971) правят петрографско описание на гранитоидите, свързаните с тях пегматити и скарни. Г о р а н о в и др. (1995) фигурират плутоничните тела на картен лист Крумовград и Сапе и ги обособяват като „Горна креда - левкократни гранити“ (Чучулигински - $ch K_2$ -?). Б е л м у с т а к о в а и др. (1995) обсъждат геоложката позиция, веществената характеристика, структурните параметри на К-фелдшпати, микросондови състави на биотити и мусковити, абсолютната възраст (39÷43 Ma) и геохимичната типизация на гранитоидните тела в пределите на Белоречкото подуване (Белидолско, Горноселско, Розинско, Черничинско, Чучулигинско). Чучулигинските гранитоиди са цитирани в многобройни статии с оглед на тектоно-магматични, геодинамични и металогеенни интерпретации.

Геолошко положение

Чучулигинските гранитоиди се разкриват северно от едноименното село, южно от град Маджарово. Те изграждат единно плутонично тяло, удължено в ИЮИ посока сред метаморфитите на Родопската надгрупа (гнайси, гранитогнайси, амфиболити, ултрабазити, еклогити, мрамори, шисти). Чучулигинските гранитоиди имат интрузивни контакти с кристалинната си рамка. Площта, която заемат на повърхността, възлиза на около 12 km² (фиг. 1).



Фиг. 1. Геоложка карта (по Г о р а н о в и др., 1992). Палеоген: 1 — латити, 2 — брекчоконгломерати. 3 — Чучулигински гранитоиди и Черничински гранити. Кристалинен цокъл: 4 — мрамори, 5 — гнайси, амфиболити, ултрабазити, еклогити и др., 6 — разлом
 Fig. 1. Geological map (after Г о р а н о в и др., 1992). Paleogene: 1 — latites, 2 — breccia-conglomerate, 3 — Chuchuliga granitoides and Chernitsa granites. Metamorphic host rocks: 4 — marbles, 5 — gneisses, amphibolites, ultrabasic rocks, eclogites, etc., 6 — fault

Към интрузива се причленяват множество тела и апофизи, вместени по-лоинно или секущо спрямо метаморфитите. Гранитоидите включват множество ксенолити.

Минералогия на гранитоидите

Изследваното тяло е съставено от гранити (субалкални гранити, гранити, субалкални левкогранити, левкогранити), преобладаващи към гранодиорити. Те притежават гранитова, равномернозърнеста, порфиرويدна, мирмекитова и хипидиоморфна структура и масивна текстура. Изградени са от плагиоклаз, калиев фелдшпат, кварц, биотит, мусковит.

Таблица 1

Химичен състав на плагиоклази от Чучулигинските гранитоиди

Table 1

Chemical composition of plagioclases from the Chuchuliga granitoides

Обр. №	Pl(7)	Pl(3)	Pl(3)	Pl(3)	Pl(2)	Pl(2)	Pl(3)	Pl(3)	Pl(3)	Pl(3)	Pl(3)	Pl(3)
SiO ₂	64,89	63,07	63,01	62,75	63,72	62,06	63,04	62,71	63,04	63,53	62,72	63,96
TiO ₂	—	—	—	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	23,83	23,05	23,00	23,27	22,09	23,18	22,90	23,00	23,36	22,63	22,40	22,27
FeO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MnO	—	—	0,07	—	—	0,15	—	—	—	—	—	0,10
MgO	—	—	0,20	—	—	—	—	0,39	—	—	0,23	—
CaO	4,39	4,51	4,47	4,44	3,81	4,14	3,67	3,81	4,12	3,86	3,99	3,23
Na ₂ O	6,69	9,08	8,90	8,71	9,70	9,38	9,94	10,38	9,14	9,57	9,70	9,70
K ₂ O	0,25	0,34	0,27	0,26	0,25	0,15	0,38	0,38	0,28	0,36	0,32	1,08
сума	100,1	100,05	99,92	99,43	99,62	99,06	99,93	100,67	99,94	99,95	99,36	100,34
An	26	23	21	22	20	17	16	10	13	19	18	14
Ab	72	85	77	76	78	81	82	88	85	79	80	80
Or	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6

Таблица 2

Химичен състав на калиеви фелдшпати от Чучулигинските гранитоиди

Table 2

Chemical composition of K-feldspars from the Chuchuliga granitoides

Обр. №	Kf-(4)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)	Kf-(3)
SiO ₂	60,33	64,85	65,05	65,33	65,32	64,62	65,17	65,24	64,99	64,82	—
TiO ₂	0,22	—	—	—	0,07	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	18,27	18,51	18,47	18,12	18,51	18,22	18,43	18,23	18,43	18,78	—
FeO	0,09	—	—	—	—	0,18	—	—	—	—	—
MnO	—	—	—	—	0,12	—	—	—	—	—	—
MgO	1,84	—	—	—	0,25	—	—	—	—	—	0,21
CaO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	5,78	1,57	1,08	0,72	1,29	0,99	1,17	1,43	1,01	1,30	—
K ₂ O	14,21	15,38	15,29	15,40	15,57	15,29	15,30	14,84	14,99	15,49	—
BaO	—	—	—	0,35	—	0,54	—	0,31	0,55	—	—
сума	100,74	100,31	99,97	99,92	101,13	99,84	100,07	100,05	99,97	100,77	—
Or	62	87	90	93	89	90	90	86	90	89	—
Ab	38	13	10	6	11	9	10	13	9	11	—
Cs	—	—	—	1	—	1	—	1	1	—	—

Забелжка: Анализите са извършени от Кр. Рекалов и Хр. Станчев.

Таблица 3

Съдържание на Al в някои тетраедрични позиции и рентгенова триклинност на калиеви фелдшпати

Table 3

Al content in some tetrahedral sites and triclinity of K-feldspars

Обр. №	$\Delta\rho$	$T_1(0)$	$T_1(m)$	T_2
1	0,20	0,516	0,288	0,196
2	0,225	0,450	0,321	0,229
3*	0,00	0,380	0,380	0,240
4*	0,29	0,560	0,260	0,180
5*	0,20	0,490	0,290	0,220

* Данни на Белмустакова и др. (1995).

Таблица 4

Химичен състав на биотити от Чучулигинските гранитоиди

Table 4

Chemical composition of biotites from the Chuchuliga granitoides

Обр. №	Bi-(2)	Bi-(2)	Bi-(6)	Bi-(3)	Bi-(3)	Bi-(3)
SiO ₂	33,70	33,40	36,93	36,65	35,78	36,75
TiO ₂	5,09	4,02	2,43	2,54	1,73	2,19
Al ₂ O ₃	14,08	16,43	17,35	16,47	17,53	17,08
FeO	28,39	25,41	21,43	21,72	21,76	20,96
MnO	0,53	0,66	0,47	0,23	0,25	—
MgO	2,91	4,31	7,95	7,62	10,73	10,27
K ₂ O	10,89	19,67	9,56	9,96	7,12	8,85
сума	95,62	94,93	96,16	95,22	95,94	96,11
K	1,13	1,09	0,93	0,98	0,69	0,85
Mg	0,35	0,52	0,90	0,88	1,21	1,16
Mn	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	—
Fe	1,93	1,71	1,36	1,40	1,44	1,33
Al ^{VI}	0,09	0,24	0,37	0,33	0,29	0,30
Ti	0,31	0,24	0,14	0,15	0,10	0,12
Y	2,72	2,75	2,80	2,78	3,06	2,91
Si	2,74	2,68	2,81	2,83	2,72	2,78
Al ^{IV}	1,26	1,32	1,19	1,17	1,28	1,22
Z	4	4	4	4	4	4
f	85	77	60	61	54	53
al	21	23	23	22	22	22
d	-0,085	-0,03	0,09	0,08	0,005	0,04
t	11,40	8,73	5,00	5,40	3,27	4,12

З а б е л ж к а: Преизчисленията на кристалохимичните формули са извършени на базата на 11 кислородни атома.

Плагиоклаз. Плагиоклаз I генерация е представен от автоморфни зърна. Понякога се наблюдават срастъци по албитов и карлсбадски закон. Плагиоклаз II изгражда мирмекитови симплекти заедно с кварц. Те се явяват в тектонизирани участъци и са придружени от ситнолюспест мусковит. Според състава си и двете генерации (табл. 1) съответстват на олигоклаз (An_{10+26}). На места се установява слабо изразена зоналност (център An_{23} , междина зона An_{22} и периферна част An_{21}) до отчетлива (съответно An_{16} - An_{10} - An_{13})

Калиев фелдшпат. Представен е от ксеноморфни зърна с различни размери, на места с микроклинова решетка. Той е напукан и брекчиран. Понякога

Таблица 5

Химичен състав на мусковити от Чучулигинските гранитоиди

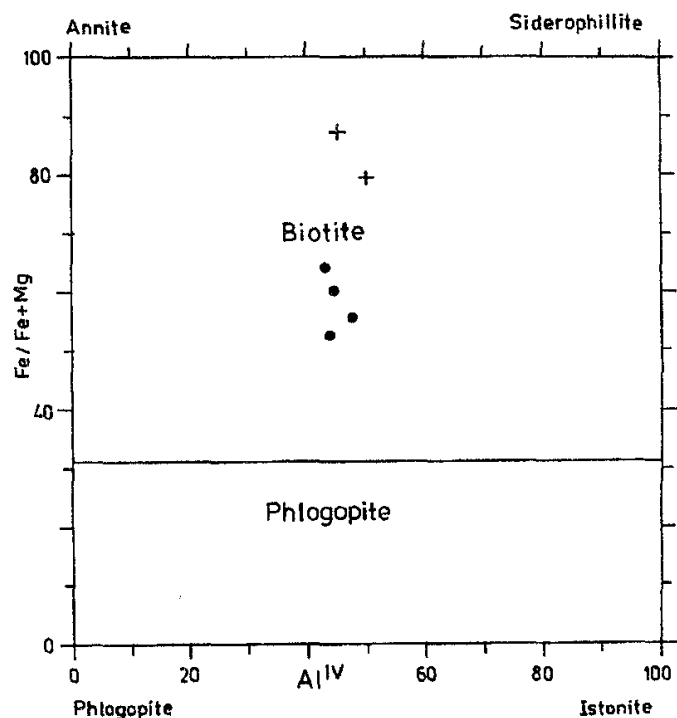
Table 5

Chemical composition of muscovites from the Chuchuliga granitoides

Обр. №	Ms-(3)	Ms-(3)	Ms-(6)	Ms-(6)	Ms-(6)	Ms-(3)	Ms-(3)
SiO ₂	47,38	47,90	47,95	47,45	47,45	46,89	47,93
TiO ₂	1,33	1,26	0,67	0,49	0,63	0,87	0,71
Al ₂ O ₃	27,27	25,02	28,62	29,06	29,08	28,55	28,37
FeO	5,65	5,85	3,91	3,59	4,12	4,47	4,07
MnO	0,11	0,13	—	0,09	0,13	—	—
MgO	—	—	2,07	2,06	1,67	1,69	1,97
Na ₂ O	—	—	—	—	—	0,61	—
K ₂ O	13,52	14,01	10,86	11,16	11,17	11,20	11,36
сума	95,28	94,18	94,10	94,13	94,29	94,31	94,45
K	1,20	1,26	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99
Na	—	—	—	—	—	0,08	—
X	1,20	1,26	0,95	0,97	0,98	1,07	0,99
Mg	—	—	0,21	0,21	0,17	0,17	0,20
Mn	0,01	0,01	—	0,01	0,01	—	—
Fe	0,33	0,35	0,22	0,21	0,24	0,26	0,23
Al ^{IV}	1,52	1,46	1,59	1,60	1,60	1,55	1,57
Ti	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04
Y	1,93	1,89	2,05	2,06	2,05	2,03	2,04
Si	3,29	3,38	3,28	3,26	3,25	3,23	3,28
Al ^{VI}	0,71	0,62	0,72	0,74	0,75	0,77	0,72
Z	4	4	4	4	4	4	4

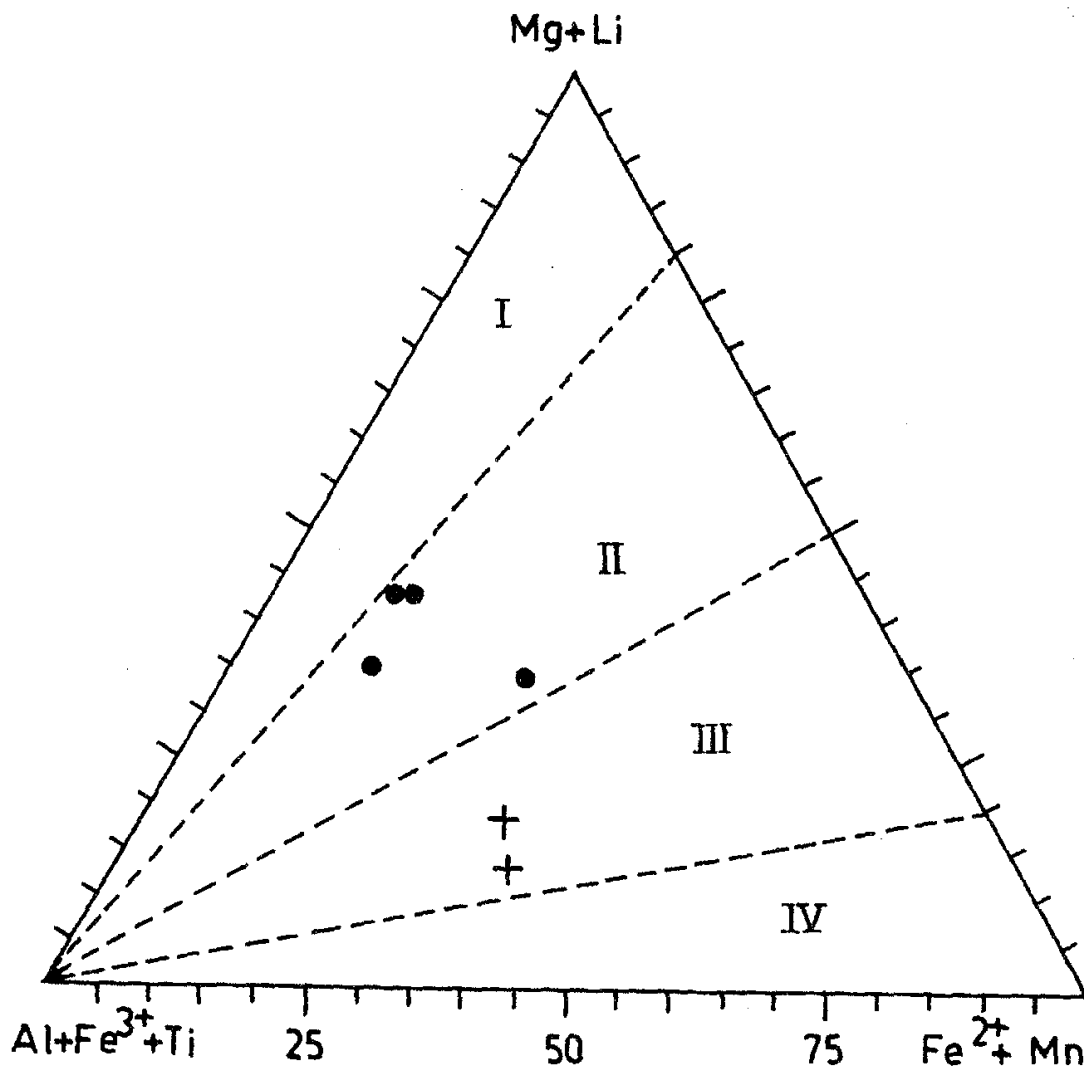
З а б е л е ж к а: Преизчисленията на кристалохимичните формули са извършени на базата на 11 кислородни атома.

съдържа отсмесвания от фини албитови ламели, което индикира микропертит на разпад. Границите на някои зърна са кородирани от мирмекитови симплекти. Отделни кристали са пресечени от биотит-мусковит-хлоритови агрегати. Калиевият фелдшпат включва дребни акцесори.



Фиг. 2. Al^{IV}/Fe/Fe+Mg диаграма на биотити (Д и р и др., 1966) от Чучулигинските гранитоиди

Fig. 2. Al^{IV} vs. Fe/Fe+Mg diagram (Д и р и др., 1966) for biotites from the Chuchuliga granitoides



Фиг. 3. Триъгълна диаграма (Gottessmann, Tischendorf, 1978) за състави на биотити от Чучулигинските гранитоиди

Fig. 3. Gottessmann, Tischendorf (1978) ternary diagram for biotites from the Chuchuliga granitoides

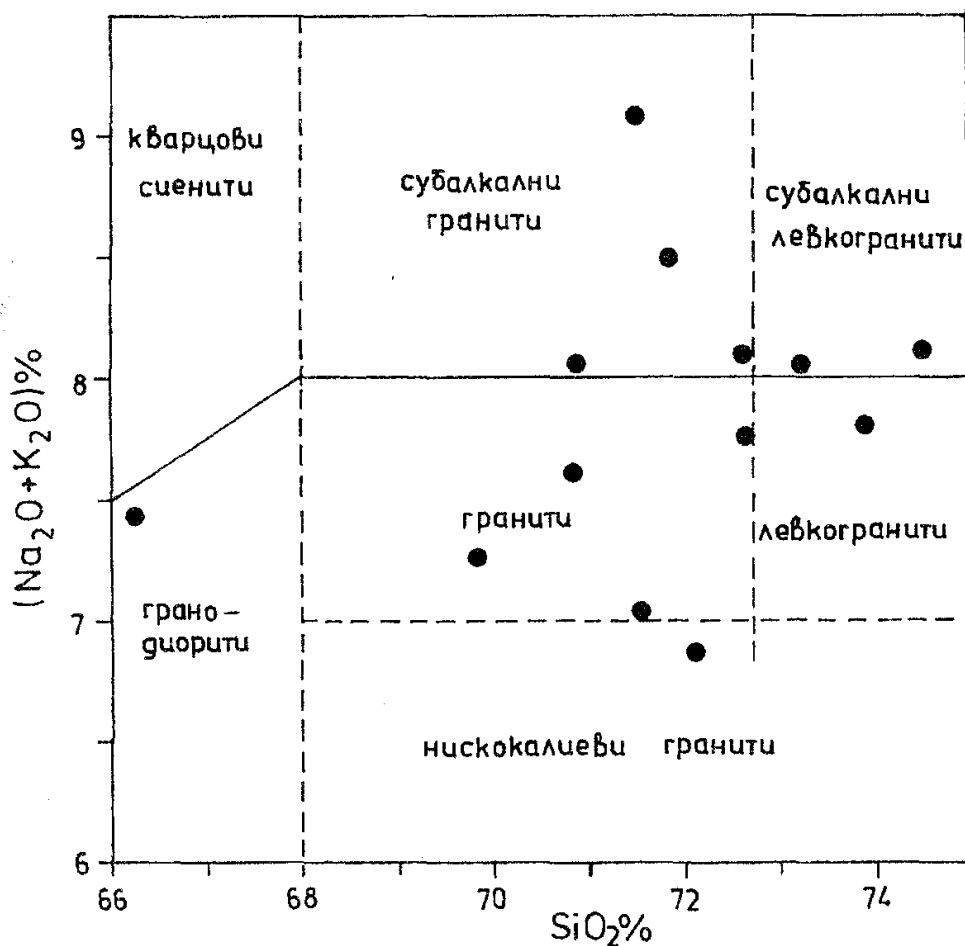
Калиевите фелдшпати са с много ниско съдържание на албитова съставка (Ab_{6+13}), която в зоналните зърна намалява от центъра към периферията (Ab_{13} - Ab_{10} - Ab_6 , съответно център - междинна зона - периферна част). В някои кристали е установено присъствието на целзианова компонента (BaO до 0,55%) - табл. 2.

Рентгеноструктурно калиевият фелдшпат може да се отнесе към тип ортоклаз с преход към междинен микроклин (табл. 3).

Кварц. Изгражда ксеноморфни зърна, често с вълновидно до мозаечно потъмнение. На места кварцът е със заоблени очертания или е сегрегирен в ивици. Той включва дребни акцесори и съдържа газово-течни включения.

Биотит. В слабо деформираните гранити е относително равномерно разпределен, а в участъците с по-силна тектонска преработка е съсредоточен в ивици. В различна степен е хлоритизиран и мусковитизиран.

По химизъм биотитът се разделя на две групи (табл. 4). В първата група влизат два състава от мезократни гранити от северната част на тялото. Те се отличават с по-високо съдържание на K_2O , TiO_2 , FeO_1 и MnO и съответно по-ниско на SiO_2 , Al_2O_3 и MgO . Тези биотити са по-железисти ($f=85$ и 77) и имат по-ниско съдържание на Al^{VI} . Значително по-високо е количеството на Ti ($t=$



Фиг. 4. $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ класификационна диаграма на Чучулигинските гранитоиди и Черничинските гранити (Магматические ..., 1983)
 Fig. 4. SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ classification diagram for Chuchuliga granitoides and Chernitsa granites (Магматические ..., 1983)

11,40 и 8,37). Освен това те имат по-ниска степен на запълване на октаедричните позиции. Изхождайки от по-високото съдържание на Ti и Fe оксид, както и от степента на запълване на октаедричните позиции според критериите на Коренбаум (1987), би могло да се предположи, че тези биотити са ранни и високотемпературни.

Биотитът от втората група е представен с 4 състава от левкократни гранити. Те имат по-високо съдържание на Al^{VI} и Mg, а по-малко на Fe и Ti. По-ниска е степента на запълване с Al^{IV} . Съдържанието на Ti е ниско ($t = 3,27 \div 5,40$).

На класификационната диаграма по Дир и др. (1966) анализираните биотити заемат междинно положение в изоморфните редове анит-флогопит и сидерофилит-истонит (фиг. 2). Съставите на биотитите от първата група са по-близо до анит-сидерофилитовия изоморфен ред, което е обусловено от по-високото съдържание на FeO_1 в тях.

Според класификацията на Gottessmann, Tischendorf (1978), анализираните биотити от левкократните гранити се отнасят към Mg-биотит, а тези от мезократните — предвид по-високото им съдържание на FeO_1 — към Fe^{2+} -биотит (фиг. 3).

Биотитите от двете групи не се отличават отчетливо по показателя a_1 .

Мусковит. Количеството му варира — то е максимално в пегматоидните гранити и минимално в гранодиоритите (табл. 5). Той образува различно голе-

Таблица 6

Химичен и нормативен състав на проби от Чучулигинските гранитоиди

Table 6

Chemical and normative composition of rock samples from the Chuchuliga granitoides

Обр. №	1	2	3	4	5	6	7	
SiO ₂	66,27	69,85	70,85	70,90	71,55	71,85	71,89	
TiO ₂	0,09	0,21	0,16	0,17	0,10	0,07	0,26	
Al ₂ O ₃	14,44	16,26	15,91	15,27	15,45	15,35	14,28	
Fe ₂ O ₃	0,20	0,93	0,68	0,55	0,46	0,40	0,74	
FeO	0,21	0,83	0,20	0,39	0,47	0,17	0,10	
MnO	—	0,03	0,02	0,02	—	—	0,01	
MgO	0,61	0,49	0,38	0,87	0,64	0,54	0,89	
CaO	6,61	2,89	3,03	2,80	3,71	2,09	1,44	
Na ₂ O	3,29	5,09	4,25	3,22	4,58	4,64	2,42	
K ₂ O	4,31	2,18	3,37	4,85	2,46	3,87	4,45	
P ₂ O ₅	0,04	0,15	0,19	0,12	—	—	0,06	
H ₂ O-	0,14	0,11	0,13	0,14	0,04	0,11	0,77	
ΣПН	3,34	0,57	0,63	0,40	0,73	0,57	2,25	
сума	99,55	99,59	99,80	99,70	99,59	99,57	99,56	
някои CIPW нормативни състави								
Qu	20,37	25,53	27,07	27,05	26,37	25,55	37,03	
Or	25,47	12,88	19,92	28,66	14,54	22,34	26,30	
Ab	27,83	43,06	35,96	27,24	41,03	29,26	20,47	
An	22,02	13,36	13,79	12,90	13,14	9,91	6,75	
C	—	0,64	0,22	—	—	—	3,01	
елемент								метод
Ba	140	850	830	970	730	970	—	RFA
Rb	101	118	139	120	102	88	—	RFA
Sr	76	670	331	735	737	760	—	RFA
Y	3,4	—	—	—	—	—	—	RFA
Zr	125	110	113	106	108	103	—	RFA
La	17	—	—	—	—	—	—	ICP
Ce	35	—	—	—	—	—	—	ICP
Nd	1,5	—	—	—	—	—	—	ICP
Sm	<4	—	—	—	—	—	—	ICP
Eu	<0,05	—	—	—	—	—	—	ICP
Gd	<0,4	—	—	—	—	—	—	ICP
Yb	<0,1	—	—	—	—	—	—	ICP
Lu	<0,03	—	—	—	—	—	—	ICP
Cr	2	2	2	<5	2	4	<5	AAA
Ni	<5	40	<5	<5	<5	<5	<5	AAA
Co	<5	8	5	<5	<5	<5	<5	AAA
Li	33	3	3	7	20	15	5	AAA
Zn	29	83	51	30	43	45	22	AAA
Cu	6	131	22	7	7	6	10	AAA

ми люспи, по чиято цепителност е отложен кварц. Често замества биотита. Понякога мусковитът плеохроира слабо в розово и е ориентиран подобно на биотита. В участъци на тектонска преработка участва в състава на удължени лещи, изградени от кварц и мусковит.

Акцесорните минерали са представени от магнетит, титанит, гранат, циркон, апатит, рутил. Доказани са: аланит, серицит, епидот, хлорит.

Чучулигинските гранитоиди се отличават с изобилие на пегматити, които пресичат както скалите на плутоничното тяло, така и метаморфитите, сред

(Таблица 6 продължение)

Обр. №	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	72,63	72,66	73,23	73,91	74,49	71,51	72,13
TiO ₂	0,22	0,24	0,07	0,10	0,09	0,16	0,22
Al ₂ O ₃	14,70	14,72	14,90	13,31	14,13	15,35	14,48
Fe ₂ O ₃	0,91	0,51	0,70	0,80	0,24	0,83	0,83
FeO	0,53	0,94	0,30	0,25	0,33	0,36	0,17
MnO	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02
MgO	0,27	0,57	0,35	0,81	0,38	0,33	0,30
CaO	1,49	1,63	1,70	2,60	1,49	1,81	1,16
Na ₂ O	4,44	4,10	4,71	3,97	3,97	4,80	3,15
K ₂ O	3,67	3,67	3,24	3,85	4,15	5,29	6,62
P ₂ O ₅	0,12	0,09	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
H ₂ O-	0,29	0,06	0,08	0,15	0,28	0,20	0,06
ЗПН	0,57	0,45	0,26	0,60	0,43	0,67	0,48
сума	99,86	99,67	99,59	100,39	100,03	100,03	99,65

някои CIPW нормативни състави

Qu	29,90	30,65	29,73	30,99	32,10	23,40	25,96
Or	21,69	21,69	19,15	22,75	24,53	25,35	39,12
Ab	37,56	34,69	39,85	33,59	33,59	40,61	26,65
An	6,61	7,50	8,29	7,14	7,52	7,71	6,61
C	1,01	1,26	0,16	—	0,46	—	0,09

елемент								метод
Ba	—	—	290	—	910	—	880	RFA
Rb	—	—	118	—	142	—	112	RFA
Sr	—	—	245	—	386	—	700	RFA
Y	—	0,5	—	—	—	—	0,5	RFA
Zr	—	—	90	—	136	—	137	RFA
La	—	33	—	—	—	—	<10	ICP
Ce	—	70	—	—	—	—	<30	ICP
Nd	—	3,5	—	—	—	—	1,5	ICP
Sm	—	0,8	—	—	—	—	<4	ICP
Eu	—	0,09	—	—	—	—	<0,05	ICP
Gd	—	0,8	—	—	—	—	<0,4	ICP
Yb	—	0,23	—	—	—	—	<0,1	ICP
Lu	—	0,03	—	—	—	—	<0,03	ICP
Cr	<5	<5	<5	<5	<5	3	<5	AAA
Ni	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	AAA
Co	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	AAA
Li	23	20	7	2	1	2	2	AAA
Zn	61	156	30	19	118	102	25	AAA
Cu	7	8	7	9	7	101	8	AAA

З а б е л ж к а: Силикатните анализи са направени от Р. Спасова и Т. Куртева, рентгенофлуоресцентните анализи (RFA) — от Е. Караиванова, атомно-емисионните анализи (ICP) — от Л. Алексиева, атомно-абсорбционните анализи (AAA) — от Ел. Ланджева (всички от СУ „Св. Климент Охридски“). Образци 1+12 са от Чучулигинските гранити, а 13 и 14 са от Черничинските, които са фелдшпатизирани. Образец 1 е карбонатизиран.

които е вместено. Пегматитите са изградени от кварц, калиев фелдшпат, плагиоклаз, биотит, мусковит, гранат.

Наблюдава се скарниране на мраморни ксенолити, по-рядко в приконтактните зони на гранитоидното тяло с мрамори и амфиболити.

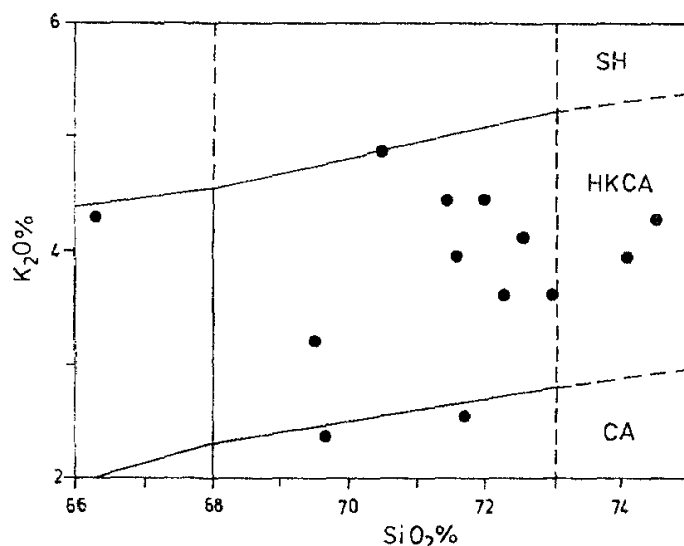
Геохимия на гранитоидите

За геохимичната характеристика на Чучулигинските гранитоиди са направени 14 пълни силикатни анализа на проби от различни части на плутона. Елементите-следи са изследвани посредством рентгено-флуоресцентен анализ (Ba, V, Rb, Sr, Y, Zr), атомно-емисионен спектрален анализ с източник на възбуждане индуктивно свързана плазма (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Lu) и атомно-абсорбционен спектрален анализ (Cr, Ni, Co, Li, Zn, Cu) — табл. 6 (образец 1 е карбонатизиран, а 13 и 14 са фелдшпатизирани).

На класификационна диаграма $\text{SiO}_2/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ (Магматические горные породы, 1983), анализираниите гранитоиди се разполагат в полетата на нормалната и субалкалната серия. Повечето от тях се отнасят към семейството на гранитите (нормални гранити, левкогранити, субалкални гранити и субалкални левкогранити) — фиг. 4.

Според $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ отношение (0,66÷2,33) изследваните гранитоиди могат да се отнесат към калиево-натриевата серия. В образец 14 (калифелдшпатизиран) отношението е 0,48, а в друг с голяма загуба при наляване то е 0,55.

На диаграма $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ (P e s s e r i l l o, T a y l o r, 1976) анализираниите гранити се отнасят към висококалиево-калциевоалкалната (HKCA) и калциевоалкалната (CA) серия (фиг. 5). На тези диаграми фигуративните точки очертават поле с малка вариация на SiO_2 (69,85÷74,49), но с голям сериален размах, определен от вариациите на алкалите ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=6,87\div 8,51$), и по-специално на K_2O (2,28÷4,85).

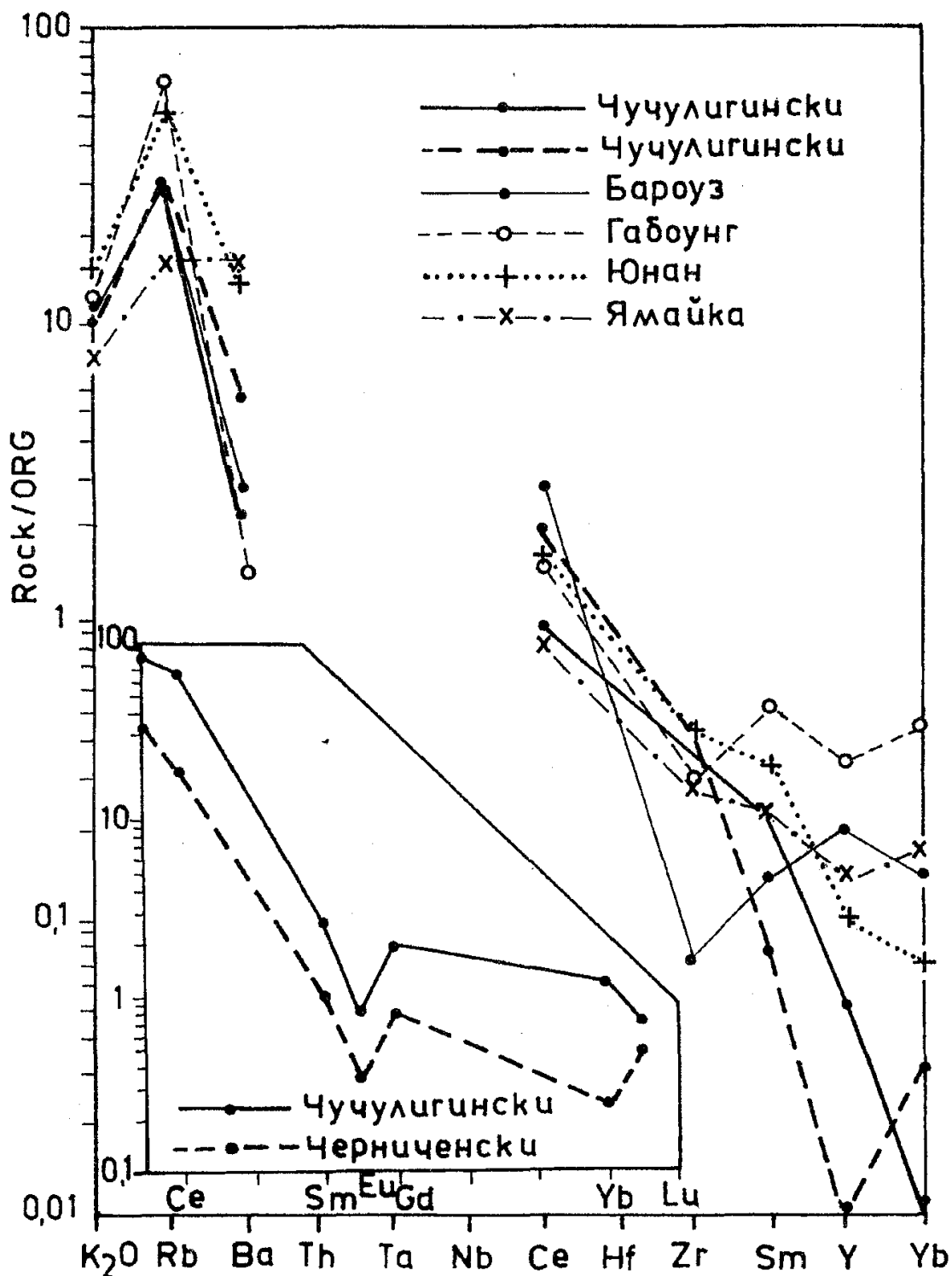


Фиг. 5. $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ класификационна диаграма (P e s s e r i l l o, T a y l o r, 1976, разширена и модифицирана от S t a n i s h e v a - V a s i l e v a, Y a n e v, H a r k o v s k a i n: D a b o v s k i e t a l., 1989)

Fig. 5. SiO_2 vs. K_2O classification diagram for Chuchuliga granitoides and Chernitsa granites (P e s s e r i l l o, T a y l o r, 1978, extended and modified by S t a n i s h e v a - V a s i l e v a, Y a n e v, H a r k o v s k a i n: D a b o v s k i e t a l., 1989)

Елементи-следи

Рубидий. Съдържанието на Rb в Чучулигинските гранитоиди варира в интервала 88÷142 g/t (табл. 6). Наблюдава се ясно изразена положителна корелация между съдържанията на Rb и K_2O .



Фиг. 6. ORG — нормирано разпределение на някои елементи от образци от Чучулигинските гранитоиди, сравнено с плутоните: Gabung, Yunnan, SW England, Barousse и Jamaica (P e a r c e et al., 1984); врезка: хондрит — нормирано разпределение на РЗЕ от Чучулигинските гранитоиди и Черниченските гранити

Fig. 6. ORG — normalized distribution patterns of some elements of the Chuchuliga granitoides compared to Gabung, Yunnan, SW England, Barousse and Jamaica granite plutons (P e a r c e et al., 1984); inset: chondrite — normalized REE distribution of the Chuchuliga granitoides and Chernitsa granites

Стронций. Вариациите в съдържанието на Sr са големи (245÷760 g/t).

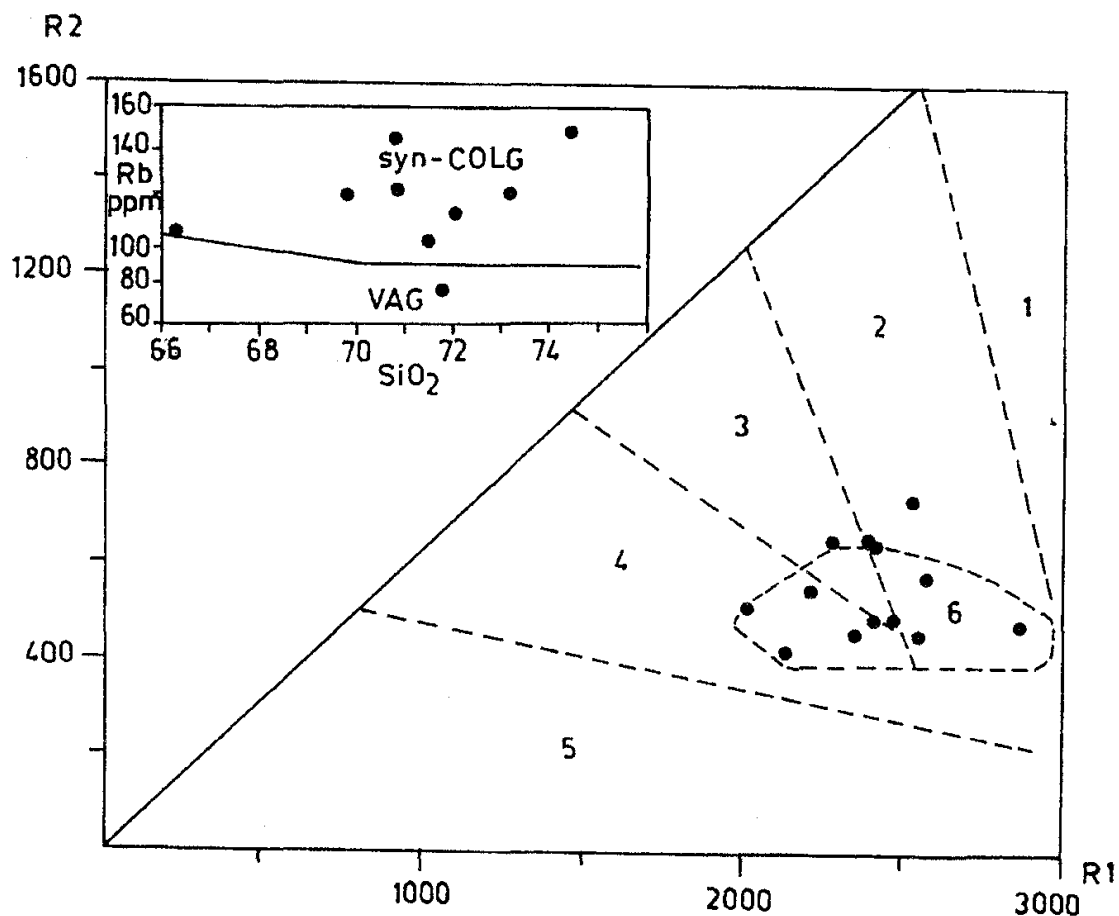
Барий. Стойностите на Ba се колебае в границите 140÷970 g/t. Установява се положителна корелация между съдържанията на Ba и K₂O.

Редкоземните елементи са силно диференцирани, с не много дълбока Eu аномалия (Eu' = 0,34÷0,38).

Съдържанието на някои елементи-следи в Чучулигинските гранитоиди е показано заедно с това в други синколизийонни гранити (за сравнение е дадена и кривата за вулканско-дъгови гранити от Ямайка) — фиг. 6.

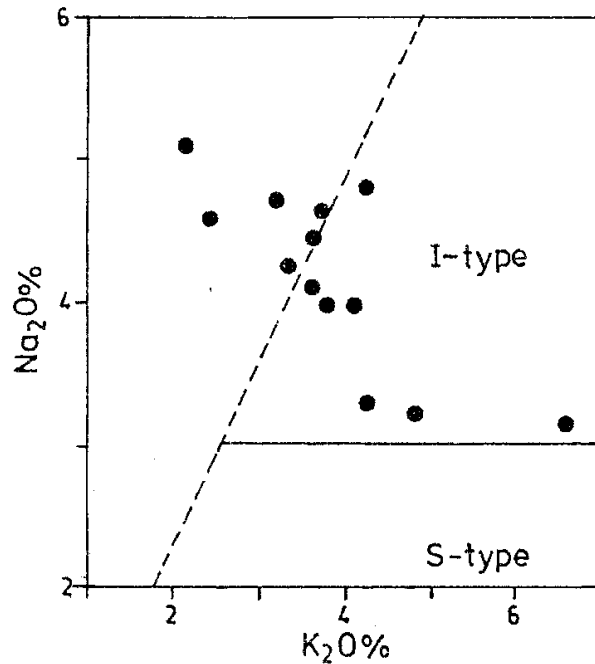
Геодинамична обстановка

На класификационната диаграма R1/R2 (Batchelor, Bowden, 1985), Чучулигинските гранитоиди попадат предимно в полето на синколизийонни (анатектични) гранити, с отклонение към предколизийонни (деструктивно активни



Фиг. 7. R1/R2 диаграма (Batchelor, Bowden, 1985) за Чучулигинските гранитоиди: 1 — мантийни плагиогранити, 2 — деструктивни ръбове на плочите (доколизийонни), 3 — постколизийонно издигане, 4 — Ca-алкални и субалкални плутони (късноорогенни), 5 — алкален магматизъм (посторогенен), 6 — анатектичен магматизъм (синорогенен, синколизийонен). R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti), R2 = 6Ca + 2Mg + Al. В горния ляв ъгъл SiO₂/Rb дискриминационна диаграма (Pearce et al., 1984) за Чучулигинските гранитоиди: syn-COLG — синколизийонни гранитоиди, VAG — гранитоиди на вулканскодъгови обстановки

Fig. 7. R1 vs. R2 diagram (Batchelor, Bowden, 1985) of rock samples from Chuchuliga granitoides: 1 — mantle plagiogranite, 2 — destructive active plate margin (pre-plate collision), 3 — post-collision uplift, 4 — Ca-alkaline and sub-alkaline plutons (late-orogenic), 5 — alkaline/peralkaline magmatism (post-orogenic), 6 — anatectic magmatism (syn-orogenic, syn-collision). R1 = 4Si + 11(Na + K) - 2(Fe + Ti), R2 = 6Ca + 2Mg + Al. In the inset SiO₂ vs. Rb diagram (Pearce et al., 1984) of rock samples from Chuchuliga granitoides. syn-COLG, syn-collision granitoids; VAG, volcanic arc granitoids



Фиг. 8. K_2O/Na_2O диаграма, илюстрираща I-тип химизма на Чучулигинските гранитоиди (полетата на S- и I-гранити са по Barton, Cidle, 1994)

Fig. 8. K_2O vs. Na_2O diagram illustrating the I-type chemistry of Chuchuliga granitoides (field boundaries for S- and I-type granites according to Barton, Cidle, 1994)

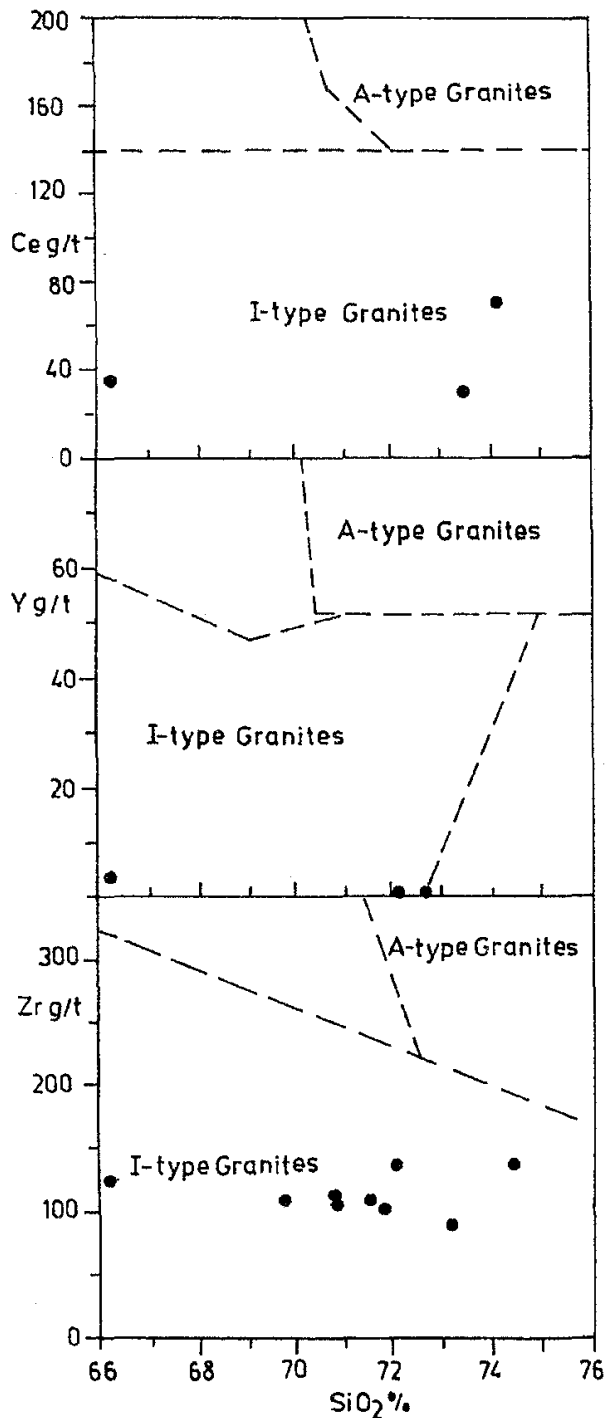
плочови крайнини) — фиг. 7. На дискриминационната диаграма Rb/SiO_2 (Pearce et al., 1984) фигуративните точки се разполагат в полетата на синколизонни (syn-COLG), с едно отклонение към вулканскодъгови гранити (VAG), фиг. 7-ляво. Геохимичните разпределения, нормирани към океански хребетен гранит (ORG), следват поведението на колизионните гранити (фиг. 6).

По тези характеристики имаме достатъчно основания да предположим, че Чучулигинските гранитоиди са образувани в колизионна геодинамична обстановка.

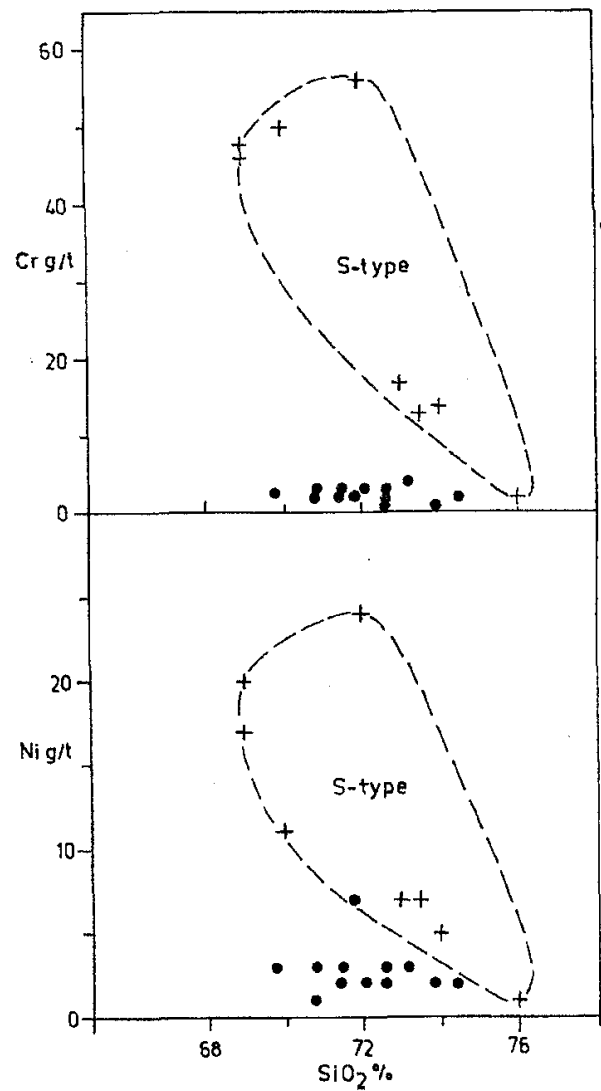
Геотермометрия

Изчисленията по двуфелдшпатовия термометър на Stormer (1968) са направени при стойности за петростатично налягане от 2 до 8 kbar. Температурите са между 379 и 543°C, а повечето от тях са в рамките 422 ÷ 520°C.

Средните стойности по двуфелдшпатовия термометър на Fuhman, Lindsley (1988) с включена целзианова съставка при зададени стойности за петростатично налягане е 475°C. Очевидно е, че тези температури отразяват твърдофазово преуравновесяване на минералните парагенези. При зоналните фелдшпати температурите се понижават от централните части към периферията. Изчислените температури са в границите или малко под температурния интервал на превръщане на моноклинната симетрия в триклинна за калиевите фелдшпати. Този факт може да обясни структурното им състояние (преход от ортоклаз към междинен микроклин). Калиевите фелдшпати са кристализирали като моноклинни и при изстиване са започнали да се трансформират в трик-



Фиг. 9. Ce, Y и Zr към SiO_2 диаграми, илюстриращи I-тип химизъм на Чучулигинските гранитоиди (•). Полетата на I- и A-тип гранити са по Collins et al. (1982)
 Fig. 9. Plots of Ce, Y and Zr vs. SiO_2 to illustrate the I-type chemistry of Chuchuliga granitoides (•). I- and A-type granite fields after Collins et al. (1982)



Фиг. 10. Диаграми Cr и Ni към SiO_2 за Чучулигинските гранитоиди (•), сравнени с полето на S-тип гранити (построени по данни от Лочланския нагънат пояс — White, Chappell, 1988)
 Fig. 10. Cr and Ni vs. SiO_2 diagrams for Chuchuliga granitoides (•) compared to S-type granites (after data for Lachlan fold Belt — White, Chappell, 1988)

линни, без обаче да се достигне навсякъде равновесното състояние. Поради това не са достигнали до максимален микроклин. Следователно температурите не отразяват кристализация на гранитоидната топилка, а равновесните условия на алохимичната прекристализация при окончателното формиране на гранитоидните.

Заклучение

Чучулигинските гранитоиди са внедрени сред скалите на Родопската над-група. Те са образувани в условия на колизия. Гранитоидите могат да се класифицират като I-тип според критериите на Chappell, White (1974), White, Chappell (1988), Kleemann, Twist (1989), Barton, Chappell (1994), образувани при частично топене на по-стари магмени скали в корови условия. Това твърдение може да бъде подкрепено със следните аргументи:

1. Повишено съдържание на Na_2O (в Чучулигинските гранитоиди то е $3,3\div 5,1\%$);

2. Не се наблюдава превес на съдържанието на K_2O над Na_2O ;

3. Съдържанията на CaO в Чучулигинските гранитоиди са високи в сравнение с тези от S-тип гранити;

4. Индексът на алуминиевата наситеност (ASI) на изследваните гранитоиди е под 1,1 (0,654—1,076), прието като граница за двата типа гранити;

5. В някои CIPW нормативни състави на Чучулигинските гранитоиди се появяват малки количества диопсид и корунд;

6. Като цяло се наблюдават по-ниски съдържания на Rb, Ba, Y, La, Ce, Ni и Sr, сравнени с типичните S-тип гранити;

7. Фигуративните точки на състави от Чучулигинските гранитоиди попадат в полетата на I-тип гранити на класификационните диаграми: $\text{K}_2\text{O}\% - \text{Na}_2\text{O}\%$ (Barton, Chappell, 1994) — фиг. 8, $\text{mol. Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}) - \text{SiO}_2\%$ (Chappell, White, 1974), $\text{SiO}_2\% - \text{Zr}$, $\text{SiO}_2\% - \text{Y}$, $\text{SiO}_2\% - \text{Ce}$ — фиг. 9 (последните три по Kleemann, Twist, 1989) и извън полетата на S-гранити на диаграмите $\text{SiO}_2\% - \text{Ni}$, $\text{SiO}_2\% - \text{Sr}$, (фиг. 10), $\text{SiO}_2\% - \text{Rb}$, $\text{SiO}_2\% - \text{Y}$ и $\text{SiO}_2\% - \text{La}$ (White, Chappell, 1988).

Авторите благодарят на Комитета по геология и минералните ресурси, които финансираха това изследване, и на Й. Янев, А. Андреев, Зл. Чернева, Р. Арнаудова, Л. Грозданов, А. Харковска, които прегледаха ръкописа и направиха своите критични бележки. Изследванията са завършени като част от проект НЗ—641 на Националния фонд „Научни изследвания“.

Литература

- Белмустакова, Х. 1984. Петрографска характеристика на гранитоидните плутони от Ихтиманска Средна гора. — *Геохим., минер. и петрол.*, **18**, 56-83.
- Белмустакова, Х., И. Боянов, И. Иванов, П. Лилов. 1995. Гранитоидные тела обрамления Белоречкого поднятия в Восточных Родопях. — *Докл. БАН*, **48**, 4, 37-40.
- Боянов, И., Б. Маврудчиев, И. Вапцаров. 1963. Върху структурно-формационните особености на част от Източните Родопи. — *Изв. Геол. Инст.*, **12**, 125-186.
- Горанов, А., Д. Кожухаров, И. Боянов, Е. Кожухарова. 1995. Геоложка карта на България в М 1:100 000. Лист Крумовград и Сапе. — Комитет по геология и минерални ресурси, С.
- Дир, У. А., Р. А. Хауи, Дж. Зусман. 1966. Породообразующие минералы. Т. 3. М. Мир. 316 с.
- Коренбаум, С. А. 1987. *Типоморфизм слюд магматических пород*. М., Наука. 142 с.
- Магматические горные породы. 1983. Класификация, Номенклатура, Петрография. Т. 2. М., Наука. 356 с.
- Barton, M., W. C. Sidle. 1994. Petrological and geochemical evidence for granitoid formation: the Waldoboro pluton complex., Maine. — *J. Petrol.*, **35**, 1241-1274.
- Batchelor, R. A., P. Bowden. 1983. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. — *Chem. Geol.*, **48**, 43-55.
- Chappell, B. W., A. J. R. White. 1974. Two contrasting granite types. — *Pacif. Geol.*, **8**, 173-174.
- Chappell, B. W., W. E. Stephens. 1988. Origin of infracrustal (I-type) granite magmas. — *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **79**, 71-86.

- Collins, W. J., S. D. Beams, A. J. R. White, B. W. Chappell. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to south-eastern Australia. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, **80**, 189-200.
- Dabovski, C., A. Harkovska, B. Kamenov, B. Mavrudchiev, G. Stanisheva - Vassileva, Y. Yanev. 1991. A geodynamic model of the Alpine magmatism in Bulgaria. — *Geologica Balc.*, **21**, 4, 3-15.
- Furman, M., D. Lindsley. 1988. Ternary-feldspar modeling and thermometry. — *Amer Mineral.*, **73**, 201-215.
- Gottesmann, B., G. Tischendorf. 1978. Klassifikation, Chemismus und Optik trioctaedrischer Glimmer. — *Z. geol. Wiss.* **6**, 681-708.
- Kleemann, G. J., D. Twist. 1989. The compositionally-zoned sheet-like granite pluton of the Bushveld complex: evidence bearing on the nature of A-type magmatism. — *J. Petrol.*, **30**, 1381-1414.
- Pearce, J. A., N. B. W. Harris, A. G. Tindle. 1984. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. — *J. Petrol.*, **25**, 956-983.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from Kastamonu area, Northern Turkey. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, **58**, 63-81.
- Stormer, J. C. Jr., Whitley, J. A. 1985. Two feldspar and iron-titanium oxide equilibria in silicic magmas and the depth of origin of large volume ash-flow tuffs. — *Amer. Mineral.*, **70**, 52-64.
- White, A. J. R., B. W. Chappell. 1977. Ultrametamorphism and granitoid genesis. — *Tectonophysics.*, **43**, 7-22.
- White, A. J. R., B. W. Chappell. 1988. Some supracrustal (S-type) granites of the Lachlan fold belt. — *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **79**, 169-181.

Одобрена на 05. 06. 1997 г.

Accepted June 5, 1997