

Петроложки и петроструктурни особености на Силистарския плутон, Югоизточна Странджа

Йордан Маляков, Херцинта Белмустакова

Malyakov, Y., H. Belmustakova. 1999. Petrological and structural features of the Sylistar pluton, South-eastern Strandza mountain. - *Geochem., Mineral. and Petrol.*, **36**, 29-44

Abstract. The Sylistar pluton is a small intrusive body exposed along the Black Sea coast in the Southeasternmost part of Bulgaria, near to the state border. It is intruded into a volcano-sedimentary complex of Cretaceous age. The volcano-sedimentary complex contains also basalt and latite flows. The complex builds up the southwest wing of the Burgas synclinorium. It is complicated by some local folds with NW-SE axes. The intrusive body is elongated in meridional direction and exposed on the surface at approximately 1.25 km². The pluton seems to be part of a complex intrusion, the biggest part of which is probably under the sea level. The contacts of the intrusive are tectonized or covered by Plio-Quaternary sediments. The western contact is of particular interest because of the detected copper mineralisation. According to magnetometric data this contact steeply dips to the West.

The Sylistar pluton is built up of fine to medium grained diorites and locally exposed gabbrodiorites. The contacts between them are transitional and irregular. The relations between them are very complicated. Layered bodies alternation is observed together with a net-like penetrations of diorites of different grade of crystallization. The texture of the rock is equigranular to porphyric or subhedral with elements of ophitic. The classification of these gabbrodiorites and diorites is based on the quantitative correlation among the pyroxenes and amphiboles and on the chemical composition of the rocks. The quantity of plagioclase content is constant (60-65%); biotite (1-5%), quartz (1-3%) and accessory minerals of Fe-Ti oxides, apatite and titanite also take part.

The plagioclase is represented by two generations. The first generation forms large porphyric grains, larger than those of the medium sized grains of the rock. These grains are flattened on (010) and stretched out along the crystallographic axis *a*. They are zonal with homogeneous cores and 7 to 10 zones with rhythmic changes of the composition. These grains of plagioclase are accepted to be of intratelluric origin. The second generation of plagioclase is represented by small subhedral grains (not zonal). The rhythmic zoning of the first generation of plagioclase is considered as a proof for mixing of portions of magmas at different stages of crystallization. The irregular spatial relationships of the rocks, the complicated texture and the similar mineral and chemical composition may support this conclusion.

The magmatic foliations and lineations are easily recognised on all the outcrops of the pluton. They are formed by the parallelism of the minerals and the xenoliths. The foliation has a constant orientation of N-NW direction and steeply dips towards West. The lineation, formed especially by the parallel orientation of the long axes of the xenoliths is observed in the Northern part of the pluton close to the Sylistar bay striking N-NW.

The existence of thick blocks is a particular feature of the pluton. Their faces correspond to the three groups of joints in narrow connections with the orientation of the flow structures. The joints are designated like transverse (Q), longitudinal (S), oblique (L) and diagonal (D1, D2, etc.). Veins genetically related to the pluton are used as criteria for the primary origin. These veins represented by some pink aplites are between

15 and 20 cm in thickness and emplaced especially in the transverse joints. These veins are rarer and less thick than the others.

The present shape of the Sylistar pluton is comparable to a thick dyke. The abundance of the enclaves of host rocks implies that the magmatic chamber was formed along a regional fault in Southern direction. The magma evolved during ascending was intruded without affection by considerable lateral extension.

Keywords: diorites, magma mixing, plutonic structure, SE Strandza

Address: Y. Malyakov, H. Belmustakova - Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: jormal@geology.bas.bg

Ключови думи: диорити, смесване на магми, структура на плутон, ЮИ Странджа

Адрес: Й. Маляков, Х. Белмустакова - Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София;

Увод

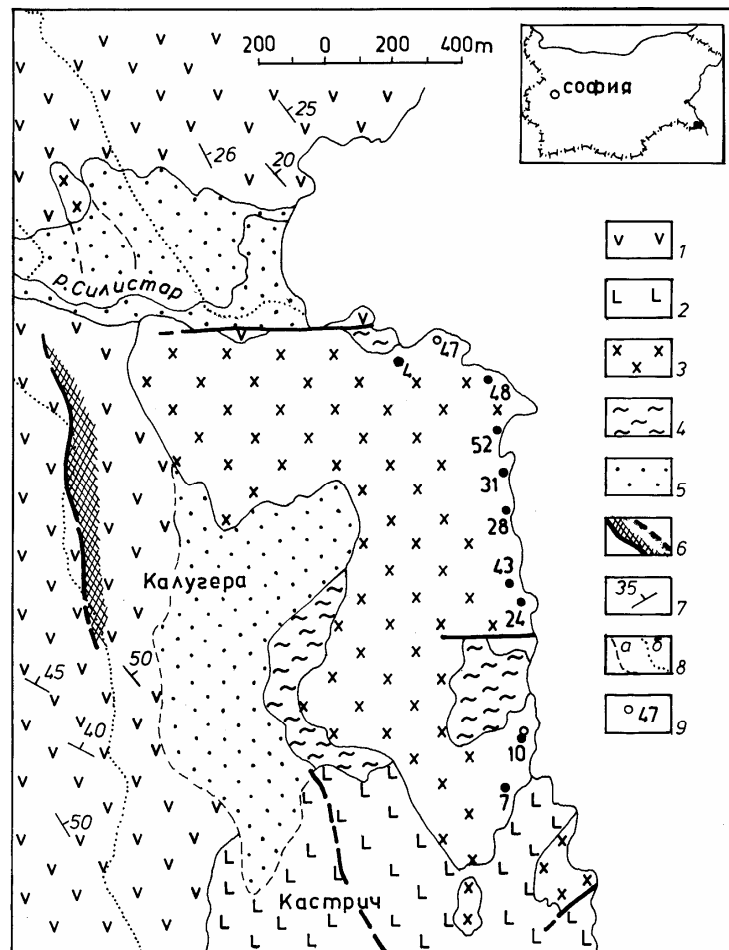
Най-югоизточният кът на България е изграден от горнокредни вулкански и вулcano-сидиментни скали, сред които между нос Силистар и устието на р. Кастрич се разкрива неголямо плутонично тяло (фиг. 1). Поради твърде скромните му размери в геоложката литература то почти не е познато. Интересът към него по-скоро е предизвикан от няколко рудопроявления - Калугера, Бакъра, Кастич и др. Първите сведения за интрузива се съдържат в непубликувани служебни доклади, отнасящи се до рудните находища в ЮИ Странджа. Там изграждащите го скали са означени като диорити и кварцдиорити. В литературата съобщения за него се появяват след работата на Кулаксьзов и др. (1964), където интрузивното тяло за първи път е наречено "Силистарски плутон". Кратки сведения за състава на плутона и на вместиращите го скали са приведени в доклада на Беливанов и др. (1992). От същите автори са отделени следните разновидности: габро - габродиорити - диорити - кварцдиорити - аплити.

Геоложка позиция

Силистарският плутон е внедрен сред скалите на мощен комплекс от туфи, туфити, туфобрекчи, туфозни мергели и

алевролити. Сред тях залягат и лавови тела с андезитобазалтов, базалтов и латитов състав. Последните са по-широко разпространени в мест. Кастрич, където те са процепени от плутона (фиг.1). Термичното контактно влияние на плутона се изразява в образуване на хорнфелзи, които изграждат билото между местностите Калугера и Кастрич, при устието на р. Кастрич и в южния край на залива Силистар. Западно от мест. Калугера са разкрити хидротермално променени скали, чието разпространение се контролира от тектонска зона със ССЗ посока. Множество дайки с различна мощност и състав (диоритови, сиенодиоритови или гранодиоритови порфирити) процепват скалите на плутона и вместиращия го комплекс.

Детайлна стратиграфия на вулcano-сидиментния комплекс не е разработвана. Някои общи регионални особености са отразени от Кулаксьзов и др. (1964), Станишева, Василев (1966) и др. Предвид издържаното моноклинално потъване на пластове към СИ районът се разглежда като част от крилото на Бургаския синклинорий, което между селата Синеморец и Резово е усложнено от локални



Фиг. 1. Геоложка карта на Силистарския pluton. горна креда: 1 - пирокластити, 2 - латити, 3 - Силистарски pluton: диорити и габродиорити, 4 - контактно-метаморфни скали, 5 - кватернер (чакъли, пясъци и др.), 6 - разломи и разломни зони, 7 - елементи на пластовете, 8 - следи на контакта по магнитометрични данни: а - на повърхността, б - на кота -100 м, 9 - номер и място на изследваните и анализирани образци

Fig. 1. Geological map of the Sylistar pluton. Upper Cretaceous: 1 - pyroclastic rocks, 2 - latites, 3 - Sylistar pluton: diorites and gabbrodiorites, 4 - contact-metamorphic rocks, 5 - Quaternary: gravels, sands, etc., 6 - faults, 7 -strike/dip of the bedding, 8 - trace of the contact according to the magnetometric data: a - on the surface, b - on the level -100 m, 9 - number and location of the analyzed samples

гънки със СЗ посока на осите (Савов, 1971). Една особеност на гънквия строеж е дъговидното огъване на директрисите в план: между долината на р. Велека и р. Силистар те имат посока по-близка до меридионалната, докато около държавната граница те повиват плавно към изток. Между многобройните разломни нарушения

само няколко носят белезите на регионални разломявания. Такива са разломът по южния склон на долината на р. Силистар и почти меридионалното нарушение между мест. Калугера и Бухта Листи, маркирани на терена от мощни тектонски зони. Данните за кинематичната им характеристика позволяват те да се тълкуват като отседи

или разсед-отсед. Има основания да се предполага, че са били дългоживущи и са контролирали магматичната и постмагматична хидротермална дейност. Районът на Силистарския плутон е тълкуван и като вулкано-плутоничен център (Беливанов и др., 1992).

В съвременното си разкритие плутонът представлява удължено в меридионална посока тяло с обща площ около 1,25 km². В северните и западни разкрития изграждащите го скали в голямата си част са грусирани или покрити от маломощни плиоценски и кватернерни отложения. Интрузивният западен контакт на плутона се установява в отделни участъци. По данни от магнитометрични изследвания на повърхността и в дълбочина този контакт е стръмно наклонен в запад-югозападна посока (фиг. 1). Северният контакт е разломен, с пропадане на северното крило, съчетано с ляво отседно отместване. Наблюденията върху южния контакт са затруднени от дребни разломни нарушения. Няколкото неголеми разкрития на диорити с контактно въздействие върху латитите, в съчетание с данни от магнитометрията позволяват допускането, че се касае за висящ контакт на интрузива.

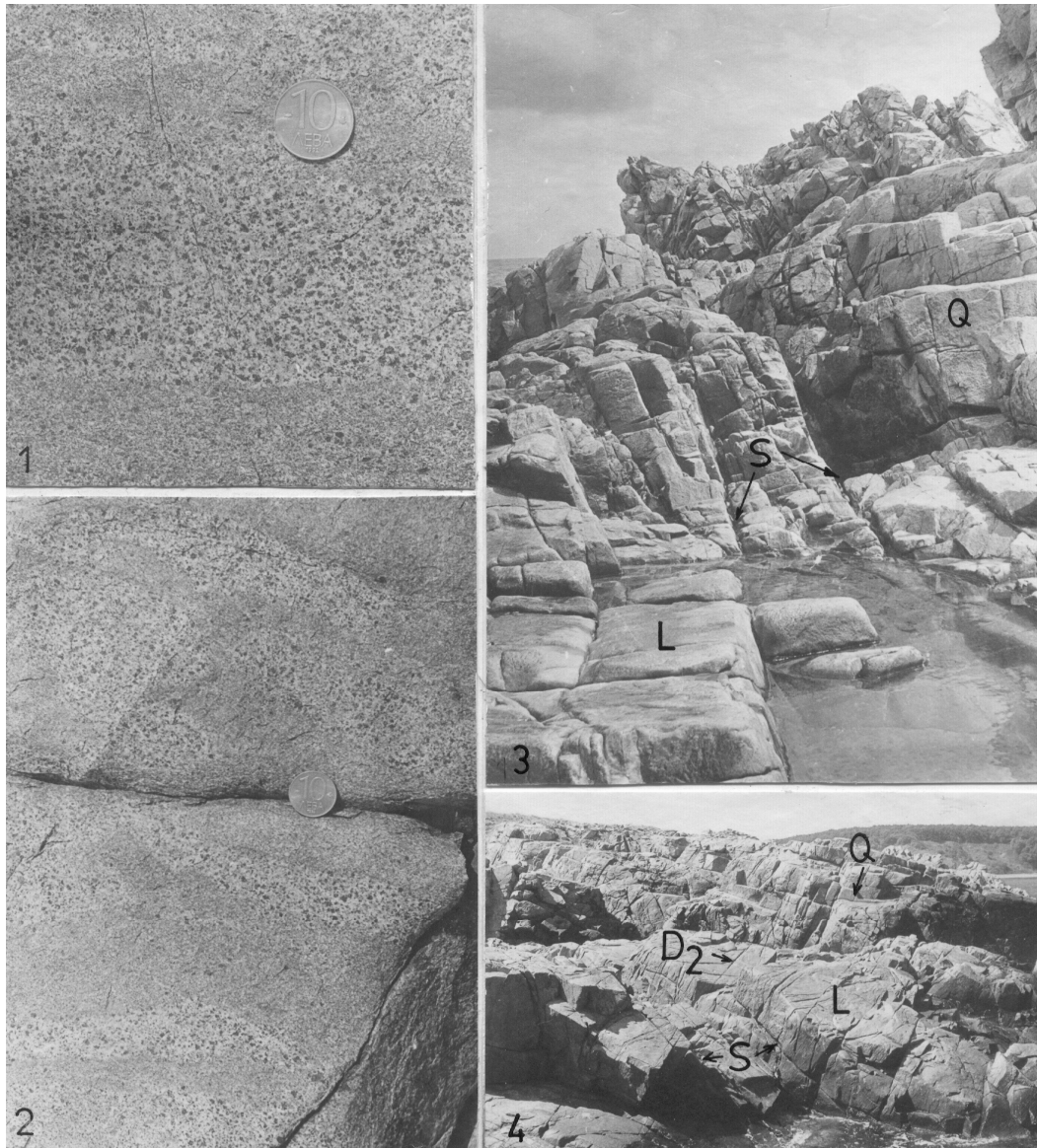
Петрографска характеристика

Силистарският плутон е изграден предимно от сиви средно- дребнозърнести диорити с масивна текстура и локално от тъмносиви дребнозърнести габродиорити. Скалите са частично порфиroidни по плагиоклаз и амфибол. Преходът между скалните разновидности и разнозърнестите диорити е постепенен и незакономерен и се следи в разстояние 1-2 до 15-20 cm. Засебяване на отделни фази не се установява. Наблюдава се (фиг. 2) незакономерно плочоподобно

редуване на разнозърнестите диорити с габродиорити или взаимното им проникване, подобно на едра аностомозираща мрежа. Съществуват участъци, в които взаимоотношенията между скалните разновидности съответстват на слоеве на първично магмено течение. В ендоконтактните зони сред диоритите се наблюдават ъгловати или слабо заоблени мезо- до меланократни ксенолити, които в дълбоко еродираните участъци са заоблени, с елипсоидна форма. Много от тях са запазили структурните и текстурни белези на изходните скали. Част от тях са от интрузивни базични магматити - пироксенити и габро. Жилната фаза на плутона е представена от розови аплитови жили и аплитовидни жили с порфирен амфибол.

Скалите на плутона са с равномернозърнеста, отчасти порфиroidна хипидиоморфнозърнеста структура, с идиоморфизъм на плагиоклаза. Структурата е усложнена от единични пироксени и често големи ситовидни амфиболи, включващи плагиоклази с офитови взаимоотношения. При диоритите се наблюдава и призматично-зърнеста структура.

Диоритите и габродиоритите имат еднакъв минерален състав (табл. 1). От главните минерали плагиоклазът е в постоянно количество, пироксенът и амфиболът са в променливи съотношения, а второстепенните - биотит и кварц, се променят незначително. Плагиоклазът формира едри до порфирни (3-5mm) призматични индивиди и по-дребни изометрични зърна. Големите плагиоклази са зонални, с ядро, изграждащо 1/3 до 1/5 от кристала и 7-10 (до 35) тънки зони.



Фиг. 2. 1, 2 - Редувания на неправилни неравномерnozърнести зони без интрузивни контакти в магматитите, 3, 4 - Блоково напукване на магматитите от Силистарския плутон. Напречни Q, надлъжни S, полегати L и диагонални D пукнатини. Фотографии направени съответно към изток (3) и запад (4)

Fig. 2. 1, 2 - Alternation between irregular inequigranular zones without intrusive contacts in magmatites, 3, 4 Block jointing of Silistar Pluton. Transversal Q, longitudinal S, low-deeping L and diagonal D joints. The photos are oriented on east (3) and west (4)

Таблица 1. Химичен и модален състав на скалите (тегл.%)

Table 1. Major and modal composition of the rocks (wt.%)

Обр. N	31	24	7	48-2	48-1	52	10	4	28	43
SiO ₂	52,72	52,98	53,54	54,15	54,73	55,30	55,36	55,63	55,67	68,04
TiO ₂	0,70	0,59	0,68	0,56	0,61	0,61	0,60	0,59	0,56	0,32
Al ₂ O ₃	17,53	17,78	17,92	19,07	18,34	17,73	18,29	18,29	17,85	16,24
Fe ₂ O ₃	4,11	3,45	-	-	-	-	-	3,09	3,16	-
FeO	4,13	3,70	7,89t	7,90t	8,13t	8,14t	7,94t	4,28	3,14	1,68t
MnO	0,14	0,13	0,11	0,11	0,12	0,11	0,13	0,12	0,12	0,03
MgO	4,60	3,78	4,01	3,47	3,57	3,80	3,79	3,40	3,40	1,60
CaO	9,00	9,77	9,64	8,48	8,60	8,22	7,92	7,84	8,37	3,90
Na ₂ O	2,94	2,89	3,50	3,41	3,19	3,19	3,16	3,06	3,76	5,20
K ₂ O	1,03	0,82	0,50	1,02	1,22	1,24	1,24	1,32	0,51	0,53
P ₂ O ₅	0,15	0,15	-	-	-	-	-	0,14	0,13	-
H ₂ O	0,50	0,39	-	-	-	-	-	0,31	0,57	-
LOI	2,46	3,00	1,74	0,96	1,03	1,18	1,18	1,90	2,94	1,85
Total	100,01	99,43	99,53	99,13	99,54	99,52	99,61	99,97	100,18	99,39
Pl	65	60	65	65	65	65	65	60	65	55
Px+Amph	20	15	10	5	4	5	10	10	5	
Amph	10	20	25	15	18	20	15	25	25	20
Bi	1	2	3	5	4	7	5	5	3	
Q	1	1	1	3	2	3	3	1	3	25
Ac. M.	4	3	4	2	2	2	3	3	1	2

Индексът t означава общото Fe представено като FeO; Символи на минералите: Amph - амфибол, Bi - биотит, Pl - плагиоклаз, Px - пироксен, Q – кварц

Index t means the total Fe present as FeO; Mineral symbols: Amph - amphibole, Bi - biotite, Pl - plagioclase, Px - pyroxene, Q - quartz

Ядрото е с An_{84,7-81,1}, петнесто дебазифицирано (табл. 2, ан. 2, 12) до състава на кантиращата зона (табл. 2, ан. 9, 20), а външните обвивки са с ритмично зонален строеж. В тях от ядрото към периферията анортитовото съдържание се понижава рязко (табл. 2, ан. 3-4) или стъпаловидно (табл. 2, ан. 13-16) от 75,5-74,0 до 56,3-56,0. Следват няколко зони с постепенно увеличение до 65,1-70,0 (табл. 2, ан. 5-7, 17-18). В последната, преди кантиращата зона, анортитовото съдържание се увеличава рязко отново до 81,4-83,5 (табл. 2, ан. 8, 19). По-дребните плагиоклази са незонални с лабрадорев състав (табл. 2, ан. 10, 22), отговарящ на кантиращата зона при порфирите. Съставът на плагиоклаза, заключен в амфибола (табл. 2, ан. 21), е

близък на този от ядрото. Пироксенът се наблюдава като реликти (0,8-1mm) в центъра на големи алотриоморфни зърна от бледозелен късномагматичен актинолитов тип амфибол (по Leake et al. 1997, табл. 3, ан. 3) и като единични малки изометрични, с хексагонална форма безцветни кристали. Амфиболът е кафявозелен, от типа обикновен амфибол (по Leake et al. 1997, табл. 3). В порфирни кристали се установяват две зони с близък състав (табл. 3, ан. 1, 2), като Mg индикира тенденция на намаляване във външната зона. Кафяв биотит е образуван по края на амфиболовите зърна и като самостоятелни дребни люспи. Кварцът е развит в междините на плагиоклазите или формира

Таблица 2. Състав и кристалохимични формули на плагиоклази от скалите на Силистарския плутон (тегл.%)

Table 2. Composition and structural formulae of plagioclase from the rocks of Silistar pluton (wt.%)

Ан. N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обр. N	47с	47с'	47Г ₁	47Г ₂	47Г ₃	47Г ₄	47Г ₅	47Г ₆	47Г ₇	47
SiO ₂	45,76	52,26	49,62	53,74	52,40	50,90	51,82	47,58	53,40	52,91
TiO ₂	0,06	0,07	0,08	0,03	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	34,26	30,47	32,31	29,64	30,02	31,29	31,03	33,43	29,84	30,07
FeOt	0,56	0,51	0,51	0,59	0,52	0,74	0,27	0,55	0,55	0,55
MnO	0,02	0,09	0,07	0,11	0,00	0,00	0,19	0,00	0,02	0,00
MgO	0,00	0,13	0,00	0,09	0,00	0,03	0,08	0,00	0,01	0,12
CaO	16,94	12,45	14,55	11,00	11,89	13,19	12,72	16,05	11,26	11,55
Na ₂ O	1,77	3,93	2,79	4,63	4,25	3,62	3,64	1,93	4,43	4,43
K ₂ O	0,62	0,09	0,06	0,12	0,53	0,08	0,18	0,00	0,14	0,20
BaO	0,00	0,00	0,00	0,05	0,39	0,12	0,03	0,46	0,36	0,15
Si	2,117	2,370	2,264	2,429	2,386	2,319	2,351	2,188	2,419	2,399
Ti	0,002	0,002	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Al	1,868	1,629	1,738	1,579	1,611	1,680	1,659	1,812	1,593	1,607
Fe	0,022	0,019	0,019	0,022	0,020	0,028	0,010	0,021	0,021	0,021
Mn	0,001	0,003	0,003	0,004	0,000	0,000	0,007	0,000	0,001	0,000
Mg	0,000	0,009	0,000	0,006	0,000	0,002	0,005	0,000	0,001	0,008
Ca	0,840	0,605	0,711	0,533	0,580	0,644	0,618	0,791	0,546	0,561
Na	0,159	0,346	0,247	0,406	0,375	0,320	0,320	0,172	0,389	0,389
K	0,037	0,005	0,003	0,007	0,031	0,005	0,010	0,000	0,008	0,012
Ba	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007	0,002	0,001	0,008	0,006	0,003
An	81,1	63,3	74,0	56,3	58,4	66,3	65,1	81,4	57,5	58,2
Ab	15,3	36,2	25,7	42,9	37,8	33,0	33,7	17,7	41,0	40,4
Or	3,5	0,5	0,4	0,7	3,1	0,5	1,1	0,0	0,9	1,2
Cn	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,2	0,1	0,9	0,7	0,3

Ан. 1-9 и 11-20 - зонални порфири; ан. 10 и 22 - незонален; ан. 21 - малко зърно в амфибол; с - ядро; с' - дебазифицирани петна в ядрото; Г₁, Г₂...Г_n - зони в посока към периферията на кристала

An. 1-9, 11-20 - zonal porphyreous grains; an. 10, 22 - unzonal; an. 21 - small grain in amphibole; c - core; c' - unbasic spots in the core; Г₁, Г₂...Г_n - rings to the crystal periphery

самостоятелни микроучастъци. Акцесорните Fe-Ti оксиди, апатит и титанит обикновено са пространствено привързани към мафитите.

По източното протежение скалите на плутона са слабо засегнати от променителни процеси. Плагиоклазите са бистри, като малко променителни продукти маркират само границите на вътрешните зони при порфирите, или цепителните

повърхнини на незоналните зърна. По пироксена се образува малко уралит, амфиболът и биотитът са частично хлоритизирани. В западна посока степента на преработка се засилва и довежда до заместване на плагиоклаза от микрозърнест агрегат от клиноцоизит, цоизит, албит и кварц, уралитизация на пироксена,

Таблица 2. Продължение

Table 2: Continued

Ан. N	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Обр. N	10с	10с'	10r ₁	10r ₂	10r ₃	10r ₄	10r ₅	10r ₆	10r ₇	10r ₈	10	10
SiO ₂	46,56	51,82	48,47	49,66	49,77	53,14	51,67	50,91	46,52	54,19	46,97	53,52
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01	0,01	0,07	0,05	0,00	0,10
Al ₂ O ₃	34,00	30,8	32,79	32,33	32,04	29,75	30,81	32,03	34,00	29,04	33,24	30,03
FeO _t	0,37	0,57	0,54	0,46	0,59	0,53	0,51	0,58	0,62	0,30	0,59	0,60
MnO	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,18	0,00	0,00	0,02
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,02
CaO	16,76	12,57	15,19	14,04	14,26	11,28	12,56	14,16	16,27	10,89	16,12	11,02
Na ₂ O	1,41	3,74	2,44	2,85	3,02	4,58	3,95	3,10	1,72	4,61	2,13	4,39
K ₂ O	0,33	0,46	0,36	0,06	0,06	0,39	0,16	0,37	0,04	0,40	0,33	0,15
BaO	0,23	0,00	0,21	0,37	0,03	0,29	0,12	0,03	0,13	0,05	0,61	0,00
Si	2,150	2,356	2,225	2,272	2,272	2,412	2,353	2,296	2,147	2,457	2,172	2,419
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,003
Al	1,850	1,650	1,774	1,743	1,724	1,592	1,653	1,703	1,850	1,552	1,812	1,600
Fe	0,014	0,022	0,021	0,018	0,023	0,020	0,019	0,022	0,024	0,011	0,023	0,023
Mn	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,007	0,000	0,000	0,001
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,001
Ca	0,829	0,612	0,747	0,688	0,697	0,549	0,613	0,684	0,805	0,529	0,799	0,534
Na	0,126	0,330	0,217	0,253	0,267	0,403	0,349	0,271	0,154	0,405	0,191	0,385
K	0,019	0,027	0,021	0,004	0,003	0,023	0,009	0,021	0,002	0,023	0,019	0,009
Ba	0,004	0,000	0,004	0,007	0,001	0,005	0,002	0,001	0,002	0,001	0,011	0,000
Ап	84,7	63,2	75,5	72,4	72,0	56,0	63,0	70,0	83,5	55,2	78,3	57,6
Аб	12,9	34,0	22,0	26,6	27,6	41,2	35,8	27,7	16,0	42,3	18,7	41,5
Ор	2,0	2,8	2,1	0,4	0,4	2,3	1,0	2,2	0,2	2,4	1,9	0,9
Сп	0,4	0,0	0,4	0,7	0,1	0,5	0,2	0,1	0,2	0,1	1,1	0,0

хлоритизация на биотита и амфибола, като по последния е образуван и епидот.

Класификация

Минералният и химичен състав на скалите е много близък (табл. 1) и тяхното разделяне е условно. Количеството на плагиоклаза и кварца варира в тесни граници, поради което минералните състави се проектират в общото за габро и диорити поле (по Strekeisen, 1973). Обособяването на габродиорити и диорити се основава на по-значителното присъствие на пироксен в първите и по-високо съдържание на амфибол (и кварц) във вторите. Значителният превес на плагиоклаза

характеризира габродиоритите като левкократни, а твърде базичният му състав и наличието на пироксен определя диоритите като основни. Структурата и на двете разновидности е типично диоритова, в съчетание с габрова (офитова) структура, като последната е проявена локално.

В аплитонидните жили с порфирен амфибол саличните минерали са плагиоклаз и кварц (табл. 1).

Химизмът на скалите (табл. 1, фиг. 3а) потвърждава разделянето и класификацията им като габродиорити и диорити. На класификационната SiO₂/(Na₂O + K₂O) диаграма габродиоритите са в тясната

Таблица 3. Състав и кристалохимични формули на амфиболи (тегл. %)
 Table 3. Chemical composition and structural formulae of amphiboles (wt. %)

Ан. N	1	2	3	4	5	6
Обр. N	47с	47г	47	47	10	10
SiO ₂	49,02	48,70	51,52	48,36	49,29	49,65
TiO ₂	1,76	1,67	0,87	1,41	1,27	1,05
Al ₂ O ₃	7,39	7,09	5,41	7,20	7,01	6,58
FeO	11,04	11,55	9,62	11,90	11,84	11,26
MnO	0,34	0,46	0,45	0,44	0,43	0,49
MgO	15,56	15,15	16,24	14,73	15,64	15,99
CaO	11,51	11,47	11,58	11,42	11,22	11,12
Na ₂ O	1,42	1,33	1,09	1,36	1,55	0,95
K ₂ O	0,33	0,30	0,37	0,31	0,34	0,57
BaO	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,63
Total	98,37	97,72	97,29	97,13	98,59	98,29
Si	6,944	6,961	7,345	6,971	6,958	7,026
Ti	0,187	0,180	0,093	0,153	0,135	0,112
Al	1,234	1,194	0,909	1,223	1,166	1,097
Fe ³⁺	0,560	0,587	0,293	0,566	0,768	0,821
Fe ²⁺	0,748	0,793	0,854	0,869	0,630	0,511
Mn	0,041	0,056	0,054	0,054	0,051	0,059
Mg	3,286	3,228	3,452	3,165	3,291	3,373
Ca	1,747	1,757	1,769	1,764	1,697	1,686
Na	0,390	0,369	0,301	0,380	0,424	0,261
K	0,060	0,055	0,067	0,057	0,061	0,103
Ba	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,035
CaNa	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,947
Na _B	0,253	0,243	0,231	0,236	0,303	0,261
NaK _A	0,197	0,180	0,145	0,201	0,183	0,138
Al ^{VI}	0,178	0,156	0,254	0,194	0,124	0,124
Mg/Fe	0,815	0,803	0,802	0,785	0,839	0,868
(Fe ³⁺)*	0,560	0,585	0,298	0,564	0,768	0,748

(Fe³⁺)*=^{IV}Al+NaM4-(Na,K)A-^{VI}Al-2Ti, по Parike et al.(1974)

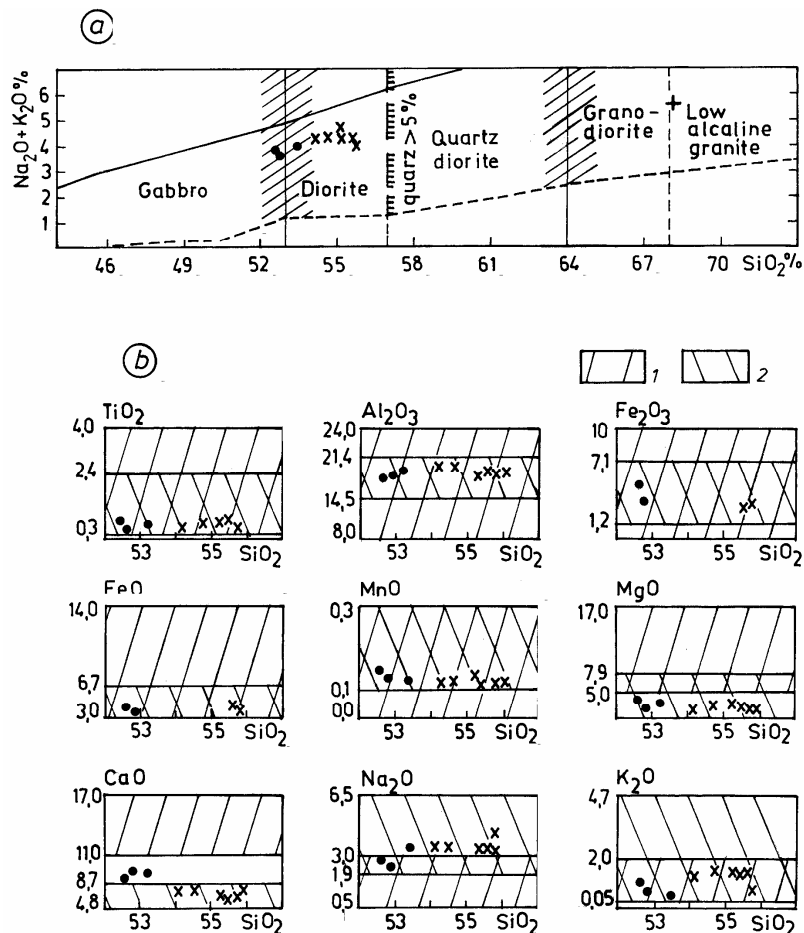
Ан. 1, 2 - зонален, обикновен амфибол; 3 - актинолитов амфибол; 4, 5, 6 - обикновен амфибол; Класификация по Leake et al., (1997): ан. 1, 2, 4 - magnesio-hornblende; ан. 3 - actinolitic hornblende; ан. 5, 6 - ferrian magnesio-hornblende
 Ан. 1, 2 - zonal, magnesio-hornblende; 3 - actinolitic hornblende; 4, 5, 6 - ferrian magnesio-hornblende (according to the classification by Leake et al., 1997)

гранична зона между полетата на габро и диорити. Аплитоидната жила с порфирен

амфибол е в полето на нискоалкални гранити, на границата с гранодиорити, с нормална алкалност и подчертана натриева тенденция. Анализирани са и останалите петрогенни оксиди спрямо статистически определените гранични съдържания в габро и диорити (по Класификация и номенклатура..., 1981). Полетата на разпределение в известна област се припокриват, с изключение на CaO (фиг. 3). Близките съдържания на TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, K₂O и отчасти Na₂O показват химичното сходство на изследваните скали, като същевременно с това са в граничните съдържания, общи за габро и диорити. Междинната позиция на габродиоритите спрямо тези две групи се демонстрира, от една страна, от ниските съдържания на FeO и MgO в тях, които отговарят на тези в диоритите. От друга страна съдържанията на CaO формират собствено поле, което се разполага между граничните му съдържания за габро и диорити.

Термобарометрия

Използвани са състави на минерали от диорит (обр. 10) и от габродиорит (обр. 47). Налягането при кристализацията на амфиболите се изчислява на 2,2-2,9 kbar (амфиболов барометър на Schmidt, 1992). Температурата (по амфибол-плагиоклазов геотермометър на Blundy, Holland, 1990) е 794-779°C за диорита и 811-796°C при габродиорита, с използване в термодвойката състава на плагиоклаза от кантиращата зона. По-ниска е температурата, изчислена по състава на незоналния плагиоклаз, съответно 789-774°C и 803-788°C. Тези температури попадат в областта на ниско-температурна кристализация на диорит (850-750°C) и габро (950-800°C). Солидусът на диорити достига тези температури при парциално налягане на флуида (PH₂O) от 1,5 до 3 kbar.



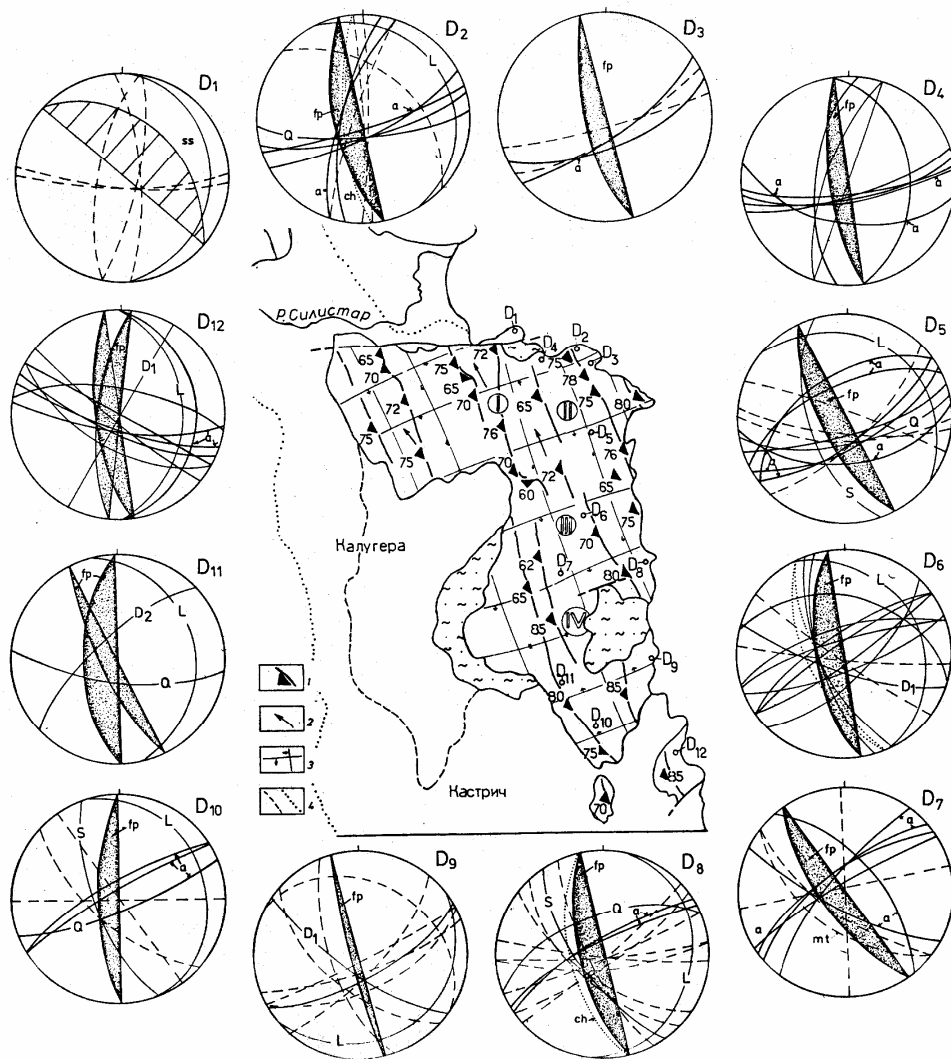
Фиг. 3. а - $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ класификационна диаграма (по Класификация и номенклатура..., 1981) за скалите на Силистарския плутон, а: • - габродиорит, x - диорит, + - гранодиорит; б: полета на статистическо разпределение на петрогенните окиси в: 1 - габро, 2 - диорит
 Fig. 3. $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ classification diagram (after Класификация и номенклатура..., 1981) for the rocks of Sylistar pluton, а: • - gabbrodiorite, x - diorite, + - granodiorite; б: fields of statistical distribution of the petrogenic oxides in: 1 - gabbro, 2 - diorite

Структура на плутона

Структури на течение

Структурите на първично магмено течение са развити върху цялата разкрита площ на плутона и са лесно доловими макроскопски. Ориентировката е предимно плоскостна и се моделира от паралелното подреждане на дългите оси на амфиболовите индивиди или от плоските стени на ксеногенните

включения. Слоевете на течение, оформени от многократното редуване на неравномерно зърнести диорити има в северната част на интрузива, около залива Силистар. Плоскостните структури имат издържана ССЗ посока и стръмен наклон към З и ЗЮЗ (фиг. 4). Отклонения от преобладаващото пространствено положение са отбелязани само около крупни ксенолити. Ориентировката на плоскостните структури съвпада с тази на западния контакт.



Фиг. 4. Структурна карта на Силистарския плутон. 1 - плоскостен паралелизъм, 2 - линейност, 3 - следи на напречни (Q) и надлъжни (S) пукнатини, 4 - следи на магнитометричните контакти: а - на повърхността, б - на кота -100 m, D1-D12 - диаграми за взаимоотношенията между плоскостния паралелизъм, линейността на магматично течение, пукнатините и аплитите

Fig. 4. Structural map of the Sylistar pluton: 1 - magmatic foliation, 2 - lineation, 3 - traces of transverse (Q) and longitudinal (S) joints, 4 - traces of magnetometric contacts: a - on the surface, b - on the level -100 m, D1-D12 - diagrams of the relations between the magmatic foliation, lineation, joints and aplites

Линейността на първично магмено течение е моделирана от паралелното подреждане на дългите оси на включенията. Между местността Кастрич и р. Силистар, върху

стръмно потъващия към ЗЮЗ плоскостен паралелизъм, тя има елементи $346^{\circ}-20^{\circ}/\text{ССЗ}$.

Пукнатинен строеж

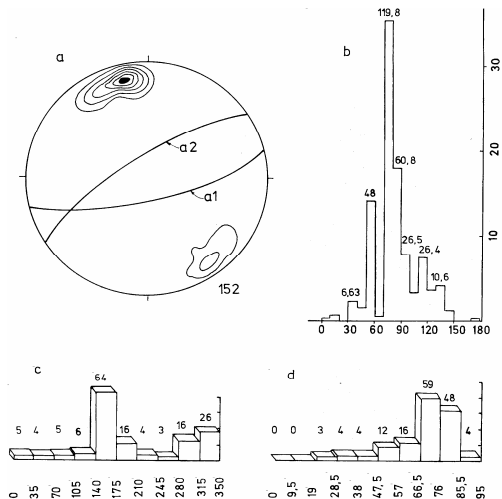
Едроблоковото напукване е характерен елемент в структурата на Силистарския плутон (фиг. 2). Няколко главни групи пукнатини оформят морфологията на разкритията и са в тясна връзка с пространственото положение на структурите на магмено течение. Различени са напречни, надлъжни, полегати и диагонални пукнатини. Тук пукнатините са разгледани като краен съвременен етап от руптурното развитие на плутоничното тяло. Основанията за подобен подход са изложени другаде (напр. Дабовски, 1991). Напречните Q-пукнатини се разполагат под прав ъгъл на преобладаващата посока на текстурите на течение и оформят една от стените на паралелопипедните блокове. Имат ИСИ посока $60-75^{\circ}$ и стръмни наклони към ЮЮИ (фиг. 4). Изключение прави само най-южната част на плутоничното тяло, където наклонът им е стръмен към ССЗ. Q-пукнатините имат равни и гладки повърхнини, понякога и вълнообразни. Достигат 12-15 m дължина, като разстоянията между тях варират между 2 и 5 m. Пукнатините от тази група вместиват многобройни аплитови жили с дебелина 12-15 cm, част от които имат кулисно разположение. Надлъжните S-пукнатини оформят втората стена на блоковете и се разполагат паралелно на плоскостните структури на течение. Имат издържана ССЗ посока и постоянен стръмен наклон към ЗЮЗ. Дълги са до 15-18 m. Тези пукнатини също вместиват аплитови жили, но като правило тяхната дебелина е значително по-малка от тази на аплитовите жили по Q-пукнатините. Към полегатите L-пукнатини са отнесени онези, чиито наклон е между $25-30^{\circ}$ и постоянна страна на затъване към ИСИ (фиг. 4). В някои разкрития L-пукнатините са коаксиални на Q-пукнатините, а в други на S-пукнатините.

Обикновено повърхнините им достигат до няколко десетки m^2 . В тях рядко са вместили аплитови жили. Диагоналните D-пукнатини имат ограничено разпространение и се разполагат под остър ъгъл спрямо напречните или надлъжните пукнатини. По стените им се наблюдават следи от движения - тектонски огледала, бразди на триене, стриване и сдробяване на скалите. Те много често са запълнени с продукти на постмагматична хидротер-мална дейност.

В част от разкритията напукаността на диоритите има вторичен характер. Множество дребни тектонски нарушения с незначителна амплитуда на отместванията са причина за катаклаза, придружена в различна степен от милонитизация около разломните повърхнини. Касае се за две групи нарушения. Първата обединява тези с меридионална или почти меридионална посока и дясно отсядане по тях. Към втората се отнасят нарушенията с посока близка до екваториалната и леви разсед-отседни движения. Именно тези нарушения контролират внедряването на различни по състав и строеж дайки - диоритови, сиенодиоритови, габродиоритови и др. Те отразяват условията на вторичното пукнатинообразуване и епитектонската преработка на интрузива.

Жилни скали

Силистарският плутон е процепен от различно дебели аплитовите и аплит-пегматитови жили, генетически свързани с интрузията. Налице е регионална закономерност в пространственото разпределение на аплитовите жили, внедрени по напречни пукнатини. От север към юг, при постоянна посока $60-80^{\circ}$ и стръмен наклон $70-80^{\circ}$, те на късо разстояние изменят страната на затъване от ЮЮИ към ССЗ. В северната част на плутона, между залива Силистар и паралела на местн. Калугера, аплитовите жили имат страна към ЮЮИ със стръмен наклон (фиг. 5, D1-D4). На юг от този паралел, в една зона с ширина около 200 m,



Фиг. 5. а - две групи аплитови жили в напречните пукнатини на Силистарския плутон (големи кръгове a1 и a2), изолинии 0-3-6-9% и т.н, b - хистограми на разпределение на аплитовите жили по дебелина, сумарната дебелина за интервали от 10° е отбелязана над всяка колона, c, d - хистограми за разпределението на аплитовите жили по наклон (c) и страна (d)

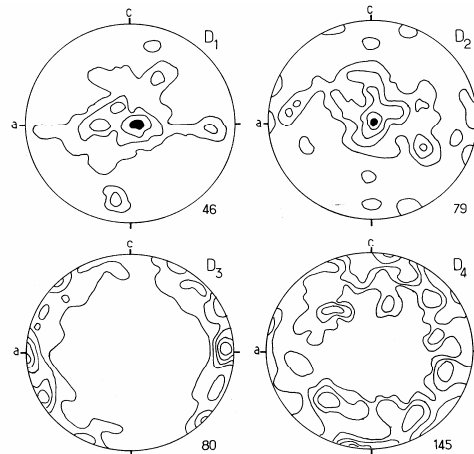
Fig. 5. Two groups of aplites in the Sylistar pluton: transverse joints (big circles a1 and a2), isolines 0-3-6-9%, b - histograms of vein distribution according to their thicknesses; in every strike interval of 10° the summarized thickness is indicated on the upper part of the column, c, d - histograms of distribution of the veins according to their dip (c) and strike (d)

страната на затъване е променлива - към ЮЮИ или ССЗ, а наклоните са стръмни до вертикални (фиг. 4, D5-D6). В най-южната част аплитовите жили имат страна на затъване към ССЗ (фиг. 4, D7-D11). По този начин се оформя ветрилообразно разположение на жилите и на първичните пукнатини. Оста, около която става преобръщането на "ветрилото", се очертава между местностите Калугера и Кастрич (фиг. 5) Последните фосилизират първичната пукнатинна мрежа в интрузива и това намира отражение на структурните диаграми (фиг. 4).

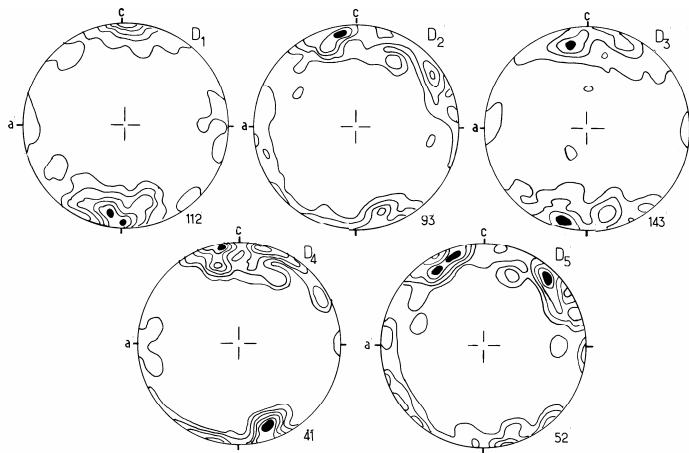
Петроструктурен анализ

Петроструктурните изследвания са извършени върху три ориентирани образци, подбрани от различни участъци на магменото тяло (фиг. 1, обр. 10, 31, 47). От всеки образец са изготвени по три взаимно перпендикулярни шлифа, чието пространствено положение е съобразено с това на структурите на течение. Използвана е *abc*-координатна система, така че *b* е паралелна на линейността на магмено течение, *ab* съвпада с плоскостния паралелизъм и *a* е перпендикулярна на *b*. Изследвана е ориентировката на плагио-клаза, амфибола и кварца.

Амфибол. Показва висока степен на ориентировка в равнината на плоскостния паралелизъм. На диаграмите (фиг. 6, D1, D2) се наблюдават почти пълни *ab*-поясии с максимуми в оста *b*, свидетелстващи за линейнопаралелно подреждане, съчетано с плоскопаралелно. От AV-анализът пролича и наличието на ксеноморфни амфиболи,



Фиг. 6. D1, D2-плоскостна и линейна ориентировка на амфибола (образци 10 и 47), D3, D4 - ориентировка на кварца в същите образци
Fig. 6. D1, D2-plane and linear orientation of amphiboles in diorites (samples 10 and 47), D3, D4 - orientation of quartz in the same samples



Фиг. 7. D1-D3: ориентировка на плагиоклаза в диоритите (образци 10, 31 и 47, мястото и номера на всеки образец са показани на фиг. 1). D4, D5 - ориентировка на двете генерации плагиоклаз в образец 31: D4 - едри зърна първа генерация; D5 - дребни зърна втора генерация

Fig. 7. D1-D3: Orientation of plagioclase in diorites (samples 10, 31 and 47, the location is indicated on Fig. 1) D4, D5: orientation of two generations of plagioclase in the sample 31, D4 - porphyritic grains-first generation, D5 - small grains-second generation

чиито кристалографски c -оси са почти перпендикулярни на ab -плоскостта на магмено течение (фиг. 6, D2-D4).

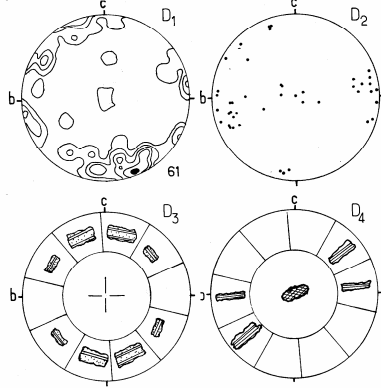
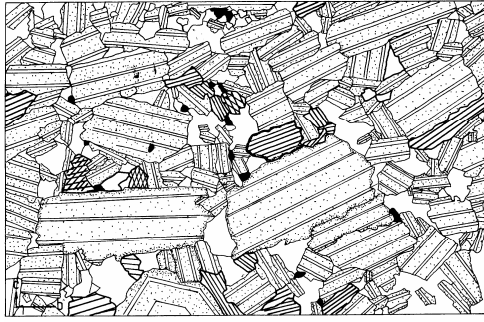
Плагиоклаз. Подобно на амфибола, той също показва ориентировка по форма. Характерна особеност е концентрацията на перпендикулярите към (010) около координатната ос c (фиг. 7, D1-3). Максимумите и субмаксимумите идват в комбинация с непълни ac -пояси, оформени от нископроцентовите контури. Двете морфоложки разновидности плагиоклаз (едрите до порфиroidни призматични и дебелоплочести индивиди и по-дребните хипидиоморфни до ксеноморфни зърна) са изследвани поотделно за обр. 31 (фиг. 7, D2, D4, D5). Сравнителният анализ на диаграмите показва значително по-високата степен на ориентировка на интрателуричните индивиди. Именно те чрез (010) стени и дълги оси (линейно-паралелното подреждане на плагиоклазо-вите индивиди не е било обект на специални изследвания) моделират плоскопаралелните структури на магмено течение. Плагиоклазите от втората морфоложка разновидност имат по-дифузна ориентировка (фиг. 7, D5). Част от тях са ориентирани подобно на интрателуричните индивиди (фиг. 7, D4-D5). Друга част от зърната формират максимуми със същата плътност или субмаксимуми (фиг. 7, D4),

разсеяни по цялата периферия на диаграмата. Тези факти правят правдоподобен извода, че значителна част от по-дребните плагиоклазови индивиди са кристализирали на място и най-вероятно след пълното прекратяване на магменото течение. Тази констатация се потвърждава от AV-анализа на плагиоклазовата ориентировка и се подкрепя от петрографските наблюдения (фиг. 8).

Кварц. Кварцът в диоритите на Силистарския плутон е ориентиран по вътрешен строеж. На кварцовите диаграми (фиг. 6, D3, D4) се наблюдава ac -пояс, отстоящ на $60-75^\circ$ от оста b , със субмаксимуми вътре в него. Подобни кварцови субструктури са познати и за други плутонични тела от Средногорската зона (Дабовски, 1968).

Дискусия

Генезисът на диоритите и габродиоритите се свързва с диференциати на една базична магма. Формирането на скалите протича в два етапа и се контролира от два процеса - частична кристализация в магмената камера, с образуване на интрателурични минерали и смесване на два магмени диференциата при издигането им в магмените канали, и най-вероятно, в субинтрузивни условия.



Фиг. 8. AV-анализ на обр. 10. *bc*-прerez \perp на плоскостния паралелизъм и паралелен на линейността. D1-плагноклаз, D2-амфибол, D3, D4 - групи минерали с различна ориентировка

Fig. 8. AV-analysis of sample 10. Section (*bc*) \perp to the magmatic foliation and parallel to the lineation. D1-plagioclase, D2-amphibole, D3, D4-groups of minerals of different orientation

От тази нехомогенна, хибридна топилка кристализират тънките зони на плагноклазите, с характерни циклични вариации *Ab/An*.

Скалите на плутона са продукт на нормална Са-алкална магма с базичен състав, диференцирана вероятно в диапазона пироксенити-габро-диорити-аптити. За съществуването на базични магматити в дълбочина свидетелстват меланократните ксенолити от пироксенити и габро, включени сред диоритите. Кристализацията на скалите протича при стабилни термобарични условия с образуването на големите хомогенни ядра на плагноклаза. Значителната кристализация на плагноклаз се дължи на съществено

калциев характер на магмата или на изместване на котектиката *An - Di* под влияние на съществено $P\text{H}_2\text{O}$ в полето на кристализация на плагноклаза (Yoder, 1969, цит. по Кусиро, 1983). Към кристализираните безводни минерали се присъединява и амфибол, чиято област на стабилна кристализация започва при $P\text{H}_2\text{O}$ над 1 kbar и съдържание на H_2O над 4 тегл. %.

Резултатите от петроложките и петроструктурни изследвания позволяват да се допусне, че частично кристализиралата магма е започнала да се придвижва към горните нива на литосферата. Твърдата фаза на топилката е включвала кристализираните в дълбочина интрателурични минерали - ядрата на плагноклаза, пироксен и част от амфибола. Ламинарното течение, възникнало вследствие на триене около стените на интрузивната камера, е станало причина за формирането на плоскостни структури на магмено течение. В епизодни условия, при постепенно намаляване на скоростта и затихване на течението, е кристализирала останалата част от магмената топилка.

Ритмичнозоналният строеж на плагноклаза със значителни изменения в състава, позволява формирането на изследваните скали логично да се обвърже с механизма на смесване на две частично кристализирани магми (по Вилъямс и др., 1985) с неособено контрастен състав (габро-диорит). Многократните изменения в състава на зоните се контролира от съотношението между скоростта на дифузия и растежа на кристала в непосредствената приконтактна област (Hills, 1936 и Bottinga et al., 1966, цит. по Джексон, 1983). В подкрепа на идеята за смесване на частично кристализирани магми са и пространствените съотношения на диоритите и габро-диоритите, без интрузивни контакти и засебяване на фази, комбинацията от типично диоритова структура с елементи от габрова, близките и постепенни изменения в състава на изследваните скали.

Взаимоотношения между плоскостните и линейни структури на магмено течение и контактните повърхнини свидетелстват, че плутоничното тяло притежава конформен

вътрешен строеж, но е секущо и дискордантно спрямо регионалните гънкови и разломни структури. Интрузивната камера вероятно се е формирала за сметка на меридионално разломно нарушение. Преходът от полупластична към твърда фаза е започнал с образуването на първичната пукнатинна мрежа, ориенти-ровката на която се е диктувала от първичните структурни анизотропии и регионалните тектонски напрежения. Допуска се максималните линейни удължения да са се реализирали в посока, близка до меридионалната. Това е предизвикало широкото отваряне предимно на напречните повърхнини и запълването им с аплитоиден материал.

Силистарският плутон по геоложко положение, петрографски особености и вътрешен строеж е аналогичен на други плутони от Средногорието (Дабовски, 1989; Каменов, 1992). Различията касаят подчертания посткинематичен характер на интрузията при ограничен размах на тектонските движения, неголемите размери, косвените белези за сложен наставен характер, наличието на специфични структури на първично магмено течение, своеобразието на първичната пукнатинна мрежа с характерно развитие на полегати пукнатини. Резултатите от изследванията не подкрепят, но и не отхвърлят идеята за Силистарски вулcano-плутоничен център (Беливанов и др., 1992). За такава вулcano-тектонска постройка обаче е трудно да се съди само по наличните геоложки данни.

Литература

- Беливанов, К., Р. Наков, Т. Керестеджиян, А. Кунов. 1992. Строеж на Силистарския вулcano-плутоничен център (Източно Средногорие). - *Постижения и задачи на Българската минералогия и петрология*, 34.
- Вильямс, Х., Ф. Тернер, Ч. Гилберт. 1985. *Петрография*, 1. М., Мир, 306 с.
- Дабовски, Х. 1968. Върху ориентацията на кварца в ларамийските плутони между София и Пловдив. - В: Цанков, В. и др. (ред). *Юбилеен сб.*, С., БАН, 417-421.
- Дабовски, Х. 1989. *Пукнатинните интрузии в Средногорието - структурен анализ, математически и лабораторни модели*. С., БАН, 180 с.
- Джексон, Э. Д. 1983. Другие следствия фракционного растворения. - В: Йодер, Х. (ред) *Эволюция изверженных пород*. М., Мир, 522 с.
- Каменов, Б. 1992. Горнокредният интрузивен магматизъм в Източното Средногорие - петролого-геохимични аргументи за условията на генерирането и кристализацията. - *Постижения и задачи на Българската минералогия и петрология*, 44.
- Кулаксьзов, Г., Г. Станишева, Л. Василев. 1964. Стратиграфски и петрографски изследвания на сенона в Югоизточна Странджа планина. - *Изв. НИГИ*, 1, 179-215.
- Кусиро, И. 1983. Фракционна кристализация базальтовой магмы. В: - Йодер, Х. (ред.) *Эволюция изверженных пород*. М., Мир, 522 с.
- Савов, С. 1971. Бургаски синклинорий. - В: Йовчев, Й. (ред) *Тектонски строеж на България*. С., Техника, 362-364
- Классификация и номенклатура магматических горных пород*. 1981. Ред. О. А. Богатиков и др. М., Недра, 160 с.
- Blundy, J. D., J. B. Holland. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole - plagioclase geothermometer. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104, 208-224.
- Leake, B. E. et al. 1997. Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on amphiboles of the IMA Commission on New Minerals Names. - *Eur. J. Mineral.*, 9, 623-651.
- Papike, J. J., K. L. Cameron, K. Balduin. 1974. Amphiboles and pyroxenes: Characterisation of other and quadrilateral component and estimates on ferric iron from microprobe data. - *Abstr. Program Geol. Soc. Am.*, 6, 1053-1054.
- Schmidt, M. W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in hornblende barometer. - *Contr. Mineral. Petrol.*, 110, 304-310.
- Strekeisen, A. 1973. Plutonic rocks classification and nomenclature recommended by the systematics of igneous rocks. - *Geotimes*, 18, 10, 26-31.

Приета на 2. 11. 1999
Accepted November 2, 1999