

Eruptivi Senjske drage (Vratnika) kod Senja (SR Hrvatska, Jugoslavija)

Boško LUGOVIĆ i Vladimir MAJER

*Zavod za mineralogiju, petrologiju i ekonomsku geologiju,
Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6/III, YU-41.000 Zagreb*

U radu su prikazana opsežna petrološka istraživanja eruptiva Senjske drage, čime su znatno nadopunjena ranija istraživanja. Pokazalo se da je ovo eruptivno tijelo izgrađeno pretežno iz andezita, djelomično iz bazalta i dacita. Ujedno je utvrđena njihova velika sličnost s eruptivima Fužina i bitna razlika od eruptiva Donjeg Pazarišta. Eruptivne stijene Senjske drage znatnim su dijelom izmijenjene. Novootkriveni mineral pretvorbe je pumpelliit.

UVOD

Eruptivno tijelo Senjske drage kod Senja jedno je u nizu pojava koje su otkrivene u perijadranskom dijelu Vanjskih Dinarida. Te se pojave isprekidano javljaju počevši od Idrije (Grafenauer, 1980), preko Gorskog Kotara, Velebita, Dalmatinske Zagore (Barić, 1969), uključivši i dalmatinske otoke (Golub i Vragović, 1975), pa sve do Crnogorskog Primorja (Knežević, 1975).

Eruptiv Vratnika, odnosno Senjske drage, prvi put u literaturi spominje Tučan (1907) kao porfirit, a potom mu Koch (1933) daje naziv dijabazni porfirit. Detaljnija istraživanja ovog eruptiva izvršio je Marić (1936) i prema kvantitativnim petrološko-kemijskim podacima zaključuje da je istražena stijena andezitskih osobina, ali kako je paleovulkanit mezozojske starosti — erupcija se odigrala krajem srednjeg trijasa — nazvao ga je amfibolskim porfiritom. Isti autor u svom radu pripominje, prema saopćenjima drugih istraživača, da se slične stijene mogu naći i na drugim mjestima u Velebitu, i to naročito u području Štirovače, Pazarišta i Oštarija kod Karlobaga. Tajder (1965) je dao kraći opći prikaz eruptiva Senjske drage. On decidirano zaključuje da je eruptiv srednjotrijaske starosti i da je njegov položaj alohton. Opisujući pojedine strukturne i mineraloške varijetete stijena, naročito razmatra procese izmjena njihovih primarnih sastojaka.

Jedan od eruptiva iz okolice Donjeg Pazarišta u Velebitu istražili su Poljak i Tajder (1942), došavši do zaključka da se radi o »bazičnijoj varijanti tipskih bazalta«, starost kojih je, vjerojatno, postmiocenska.

Istraživanja eruptiva kod Fužina u Gorskom Kotaru, koja su izvršili Vragović i Golub (1969), pokazala su, makar je primarni mineralni sastav značajno izmijenjen, da je stijena bila hornblendna andezit (por-

firit). Eruptivna masa nalazi se u tektonski poremećenom okolišu, a i sama je rasjednuta u dva tektonski odvojena tijela, pa je, iako autori dozvoljavaju postgornjotrijasku starost, vrijeme erupcije ipak problematično.

Namjera ovog rada je da, koristeći se prednostima koje omogućavaju nova oprema i metode istraživanja minerala i stijena, nadopuni ranija istraživanja — u ovom slučaju ograničena samo na eruptive Senjske drage. Ujedno smo nastojali usporediti naše rezultate s već postojećim na području Velebita i Gorskog Kotara, što bi nam pomoglo da, barem u bliskom području, sveobuhvatnije rasvijetlimo probleme vezane na petrologiju trijaskog magmatizma.

Pošto je eruptivno tijelo Senjske drage bilo dokumentirano samo jednom kvantitativnom kemijskom analizom, a njegova je površina oko 2,5 km², kao i njegov specifičan položaj u dosta širokom prostoru perijadranskog dijela Dinarida, odlučili smo da istraživanja nadopunimo i dokumentiramo s većim brojem analiza. U tu svrhu tijelo je u toku terenskih radova 1980. i 1981. god. sistematski istraživano po najpogodnijim pravcima, pa su paralelno duž profila usječenog u cestu Vratnik—Senj, dugog oko 5 km, obavljena i sistematska uzorkovanja. Za detaljnija ispitivanja odabrano je oko 40 različitih uzoraka, a za kvantitativna mineraloška i kemijska ispitivanja izdvojeno je 8 reprezentativnih tipova i varijeteta stijena koji su prikazani u ovom radu.

PREGLED GEOLOŠKIH ODNOSA

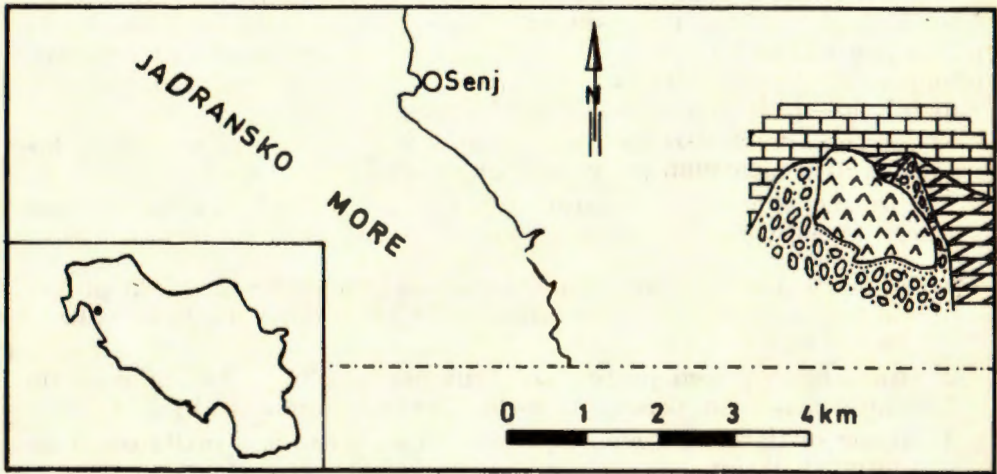
Pojednostavljeni prikaz geoloških odnosa uže okolice eruptiva nalazi se u sl. 1. To su podaci s Osnovne geološke karte — list Rab, koje koristimo, uz našu zahvalnost, dopuštenjem autora M a m u ž i ć a i dr. (1969), zajedno s tumačem M a m u ž i ć a i M i l a n a (1973).

Iz priložene geološke karte jasno se razabire da su prvotni odnosi magmatskog tijela sa sedimentnim stijenama sačuvani jedino u njegovom južnom dijelu, gdje klastične naslage karnika transgresivno naliježu na eruptiv. Valutice eruptiva, koje se nalaze među ostalim česticama karničkih konglomerata, dokazuju ne samo taj transgresivan odnos, već određuju i predgornjotrijasku starost vulkanske aktivnosti. Ostali kontakti s klastičnim stijenama karnika, zatim s dolomitima s ulošcima vapnenaca gornjeg trijasa, a na sjeveru tijela i s jurskim karbonatnim sedimentima, rasjednih su osobina. Kako autori tumača ističu, »paket« trijaskih naslaga, uključivši i eruptiv, tektonskom je djelatnošću izdignut i razlaman sistemom gotovo okomitih rasjeda. Stoga nije nikakvo čudo da fenomeni kontaktnog metamorfizma, koji bi se uz eruptivno tijelo u dodiru s karbonatnim sedimentima trebali javljati, nigdje, bar koliko nam je poznato, nisu nađeni. Očigledno je, dakle, da pitanje primarnog položaja, a time i točne starosti, ovog magmatskog tijela nije još dobilo svoj konačni odgovor.

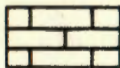
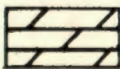
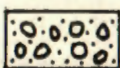
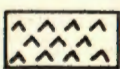
PETROLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Pregled fiziografskih osobina stijena

Mikroskopska istraživanja potvrdila su terenske dojmove da je primarni mineralni sastav ovih stijena, uz rijetke izuzetke, poremećen i iz-



Legenda

-  Jura, karbonatni sedimenti
Jurassic, carbonate sediments
-  Gornji trijas, karbonatni sedimenti
Upper Triassic, carbonate sediments
-  Karnik, klastični sedimenti
Carnian, clastic sediments
-  Eruptivi
Magmatic rocks

Sl. 1. Geološka skica eruptivnog tijela Senjske drage (Mamužić i dr., 1969).
Fig. 1. Geological sketch-map of igneous body of Senjska Draga (Mamužić et al., 1969).

mijenjen, i to u tolikoj mjeri i raznovrsno, da otežava njihovu klasifikaciju. Zbog tog je razumljivo zašto smo u prethodnom tekstu izbjegavali imenovati stijene, odnosno koristili nazive kako su ih predložili raniji istraživači. Smatramo da u slučaju kakav imamo ovdje, nomenklatura primarnog magmatskog produkta dolazi u obzir tek nakon razmatranja ukupnog kemizma, sadržaja elemenata u tragovima, posebno onih tzv. »imobilnih«, tj. slabo mobilnih tokom izmjena.

Iz gore navedenih razloga ovdje ćemo stijene grupirati i opisati njihovu fiziografiju uglavnom prema njihovim strukturnim osobinama.

Analizirane stijene, iako imaju sličnu, više ili manje dobro izraženu porfirnu strukturu, mogu se na osnovi struktura razvrstati u tri grupe:

1. stijene izrazite porfirne strukture s mikrokristalinom do kriptokristalinom osnovom, koja je najvećim dijelom devitrificirano vulkansko staklo,
2. stijene s izrazitom porfirnom strukturom, s mikrokristalinom do kriptokristalinom osnovom, no bez devitrificiranog stakla, i
3. stijene sa slabije izraženom porfirnom strukturom s prelazom u serijatnu strukturu.

Ovdje još posebno ističemo da su sve stijene bile podvrgnute pored detaljnih optičkih istraživanja i kontrolnim ili detekcijskim istraživanjima mineralne parageneze rendgenskim putem. To se pokazalo posebno korisnim i opravdanim kod jače izmijenjenih stijena kod kojih su nađeni i neki do sad nespomenuti mineralni sastojci (napr. pumpeliit).

Prvoj grupi pripadaju stijene čije su kemijske analize dane u tabeli II pod brojem 1 i 2. Ove dvije stijene razlikuju se po stupnju i načinu izmjene. Uzorak V—12C je, u odnosu na sve ostale, najsvježiji i u njemu su zastupljeni slijedeći minerali: kiseli plagioklas, kvarc, klorit, epidot, kalcit i opaki minerali. Među fenokristalima prevladavaju hipidiomorfni do idiomorfni kiseli plagioklasi nad alotriomorfni zrnima kvarca, na kojima se ponegdje vide tragovi magmatske resorpcije. Klorit se nalazi u obliku nepravilnih gnijezda ili kao pseudomorfoze po nekom bivšem feromagnezijskom mineralu.

U uzorku stijene br. 2 (V—11) osnova je gotovo isključivo izgrađena iz devitrificiranog vulkanskog stakla, a u njoj se nalaze fenokristali koji su svi izmijenjeni. Pritom su fenokristali plagioklasa skoro potpuno izmijenjeni u agregat kvarca, klorita, kalcita, sericita uz malo pumpeliita. Zaostali relikti plagioklasa, prema podacima mikrosondskih analiza, imaju srednji sastav od 4,5 molarnih postotaka anortita i 0,7 mol. % ortoklasa. Doduše, jedna analiza pokazuje da je prisutan i plagioklas s 20,2 mol. % an i 0,4 mol. % or. Male količine epidota, zajedno s klinocoisitom (?), pridružuju se navedenoj paragenezi minerala, ali se isto tako nalaze i u osnovi. Prema idiomorfni obrisima nekih utrusaka, sada ispunjenim kloritom, može se zaključiti da su oni primarno bili pirokseni. Ovdje je još posebno zanimljiva pojava granata. Čini se da se granat ovdje javlja kao protoklast. Mikrosondske analize nekih minerala iz ove stijene dani su u tabeli I: pumpeliit (1), granat (2) i klorit (3). Iz te tabele slijedi da u granatu piralspitske komponente ima 91,8 mol. %, odnosno da u njemu daleko prevladava almandinska molekula i čini 75,5 mol. %. Klorit je

Tabela I: Mikrosondske analize minerala (u tež. %) i njihove strukturne kemijske formule

Table I: Microprobe analyses of minerals (in wt. %) and their structural chemical formulae

	uzorak stijene V-11			uzorak stijene V-10A	
	1 Pumpeliit	2 Granat	3 Klorit	4 Pumpeliit	5 Pumpeliit
SiO ₂	37,2	38,8	27,7	35,5	37,8
TiO ₂	0,07	0,20	0,02	0,03	0,05
Al ₂ O ₃	21,6	22,6	18,3	23,6	23,5
FeO	10,8	33,6	31,8	7,1	10,5
MnO	0,14	1,92	0,56	0,03	0,23
MgO	1,22	2,98	10,1	1,91	0,68
CaO	20,7	2,77	0,27	22,2	21,6
Na ₂ O	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
K ₂ O	0,02	0,03	0,06	0,03	0,04
	91,78	102,92	88,83	90,42	94,42

Strukturne kemijske formule minerala na bazi:
Structural chemical formulae of minerals on the basis of:

	24,5 O	12 O	28 O	24,5 O	24,5 O
Si	6,248	3,004	5,956	5,983	6,158
Al ^{IV}	6,25	3,00	2,044	5,98	6,16
Al ^{VI}	4,275	2,062	2,593	4,686	4,512
Ti	0,009	0,012	0,004	0,004	0,006
Fe ²⁺	0,561	2,07	0,004	0,322	0,418
Fe ³⁺	0,675	2,175	5,718	0,517	0,803
Mn	0,020	1,00	0,126	0,004	0,032
Mg	0,305	0,343	3,231	0,479	0,165
Ca	3,724	2,88	0,062	4,007	3,770
Na	0,010	0,003	0,008	0,006	0,006
K	0,004	0,003	0,015	0,006	0,008

Pyr 11,9 mol. %

Alm 75,5

Sps 4,4

Gr 8,2

1. Pumpeliit, uzorak stijene V—11. Kod računanja strukturne kemijske formule ukupno željezo uzeto je u obzir kao Fe²⁺ i pridodano u poziciju R_{1,00}. Višak Fe²⁺ raspoređen je kao Fe³⁺ u poziciju R₂.

1. Pumpellyite, rock sample V—11. In the calculation total iron is treated as Fe²⁺. The excess of Fe²⁺ in R_{1,00} position is expressed as Fe³⁺ in R₂ position.

2. Granat, uzorak stijene V—11. Kod računanja strukturne kemijske formule ukupno željezo uzeto je u obzir kao Fe²⁺.

2. Garnet, rock sample V—11. Total iron as Fe²⁺.

3. Klorit, uzorak stijene V—11. Ukupno željezo uzeto je u obzir kao Fe²⁺.

3. Chlorite, rock sample V—11. Total iron as Fe²⁺.

4. i 5. Pumpeliiti, uzorak stijene V—10A. Način računanja kao kod 1.

4. and 5. Pumpellyites, rock sample V—10A. Mode of the calculation as in 1.

klasificiran prema He y u (1954) i na temelju vrijednosti $Si = 6,0$, $Fe = 5,7$ i $Fe/Fe + Mg = 0,64$ pripada grupi šamozita, a projicira se u polju brunsvigita, na njegovoj granici s piknokloritom.

U drugu grupu stijena svrstali smo uzorke 3, 4 i 5 iz tabele II. Pored istovjetne strukture, stijene ove grupe imaju i sličan mineralni sastav, ali su prisutni minerali zastupljeni s različitim volumnim udjelom što se jako odražava na ukupni kemizam stijene. Mineralni sastav im je: (kiseli) plagioklas, kvarc, klorit, kalcit, sericit, epidot i, ili coisit, uz akcesorne minerale (opâki minerali, apatit, cirkon, titanit). Mjerenja fenokristala plagioklasa obavljena su pomoću univerzalnog stolića samo u uzorku stijene br. 3, dok u ostalim to nije bilo moguće. Ona su dala sastav od 8—12% an. Bitna razlika između uzoraka br. 3 i 4 i uzorka br. 5 jest da su fenokristali u uzorcima 3 i 4 isključivo plagioklasi, a u uzorku 5 fenokristali su bili i feromagnezijski minerali, koji su sad potpuno kloritizirani i kalcitizirani.

Stijene br. 6 i 7 čine treću grupu. One su jako izmijenjene i imaju porfiroidnu strukturu s intergranularnom, dijelom i intersertalnom osnovom, a između ne baš izrazito štapićastih plagioklasa nalazi se često opacit. Ne može se sa sigurnošću reći da li je opacit proizvod izmjene stakla ili nekih primarnih feromagnezijskih minerala. Utvrđen je ovaj mineralni sastav: plagioklas, klorit, kvarc, kalcit, sericit, epidot i relativno obilje neprozornih minerala, a pored toga u uzorku br. 6 i još i malo pumpeliita.

Mada uzorak br. 8 (V—10A) pokazuje strukturne osobine stijena prve grupe, ovdje smo ga izdvojili zbog toga što je stijena potpuno izmijenjena, a ima i vrlo karakterističnu paragenezu. Mineralna parageniza je jednostavna ali zato vrlo indikativna: pumpeliit i kvarc su jedini glavni minerali, a u podređenoj količini od oko 10% dolazi još i kalcit, zatim epidot i coisit. Pumpeliit i kvarc potpuno zamjenjuju bivše fenokristale plagioklasa od kojih nisu ostali niti tragovi. Ova dva minerala ujedno prevladavaju i u »osnovi«. Pri tom valja naglasiti da je orijentacijska količina pumpeliita u stijeni oko pedesetak volumnih postotaka. Kemijske analize pumpeliita izrađene mikrosondom, dane su u tabeli I (4 i 5). Pumpeliiti nemaju ujednačen kemijski sastav, što je inače vrlo čest slučaj, pa je na temelju različitog udjela željeza i magnezija bilo moguće izdvojiti dva tipa.

U ovom poglavlju opisat ćemo i jednu pojavu koja se počinje zapažati približno 2 km pred selom Tukanići, a sve jače izraženu prati se, uz stanovite prekide, do baze tijela u Donjim Lopcima. Radi se, naime, o kuglastim do elipsoidnim protoklastima stijena različitih struktura, dimenzija od nekoliko milimetara pa do dvadesetak centimetara, uklopljenih u eruptivnom materijalu vrlo sličnom onim već ranije opisanim stijenama prve i druge grupe. Strukture stijena protoklasta drugačije su; najčešće su intergranularne do subofitske, i po tome slične stijenama treće grupe. Pored toga, na usjecima ceste koja vodi sredinom tijela, možemo opaziti prema vanjskom izgledu različite pojave eruptiva, ponekad u obliku dajkova koji su različitih struktura i različitog intenziteta i načina izmjene od svoje okoline, a pripadaju strukturom, mineralnim sastavom i kemizmom trećoj grupi stijena. Iz izloženog jasno proizlazi da eruptivno tijelo Senjske drage nije homogeno i jedinstveno, pa prema tome ni rezultat jednostavnog monofaznog genetskog mehanizma.

Tabela II: Kemijske analize stijena

Table II: Chemical analyses of rocks

Tež. % wt. %	1 V-12C	2 V-11	3 V-8A	4 V-8B	5 V-1A	6 V-12B	7 V-3	8 V-10A
SiO ₂	56,31	56,08	63,97	61,75	50,32	46,83	47,52	55,20
TiO ₂	0,73	0,72	0,54	0,55	0,93	1,12	1,05	0,80
Al ₂ O ₃	17,21	19,23	15,91	16,13	17,57	17,48	16,91	17,38
Fe ₂ O ₃	5,21	3,38	2,57	4,28	2,56	5,76	3,57	3,60
FeO	2,84	3,16	2,29	2,42	4,92	5,97	5,64	1,36
MnO	0,04	0,11	0,09	0,10	0,13	0,18	0,19	0,07
MgO	4,98	1,76	1,43	1,32	4,62	5,61	6,13	1,72
CaO	1,80	5,29	2,82	2,49	6,57	6,25	6,81	13,79
Na ₂ O	5,55	2,97	6,18	7,34	4,43	3,80	3,36	0,17
K ₂ O	0,56	1,82	0,20	0,06	0,69	0,50	0,43	0,04
P ₂ O ₅	0,20	0,23	0,16	0,14	0,23	0,25	0,22	0,20
H ₂ O ⁻	0,72	0,36	0,16	0,22	0,50	0,33	0,68	0,18
H ₂ O ⁺	3,33	2,91	2,45	2,64	4,00	3,90	4,09	0,85
CO ₂	—	1,54	—	—	2,46	1,76	2,86	4,40
	99,48	99,56	98,77	99,44	99,93	99,74	99,46	99,76

ppm								
Sc	19	15	12	13	27	29	27	21
V	147	102	96	116	179	204	184	167
Cr	30	32	23	32	68	34	53	38
Co	13	12	11	14	20	23	16	15
Ni	14	14	11	17	28	20	20	19
Cu	8	23	50	13	19	11	12	29
Zn	72	51	55	55	99	83	141	52
Rb	34	62	16	—	30	38	29	—
Ga	21	17	12	13	25	24	26	16
Sr	258	205	59	47	260	165	244	50
Y	12	26	12	15	14	6	9	18
Zr	147	153	136	134	135	109	112	107
Nb	8	11	6	12	11	7	10	8
Ce	26	34	19	18	41	34	37	52

Tabela III: CIPW normativni sastav stijena

Table III: CIPW-Norms

	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	10,8	22,0	18,8	12,1	6,2	4,6	8,2	34,4
C	4,5	7,0	0,7	—	4,0	4,0	5,7	2,4
Or	3,3	10,6	1,1	0,6	3,9	2,8	2,8	0,0
Ab	47,2	25,2	52,4	61,8	37,2	32,0	28,3	1,6
An	8,1	14,7	13,1	10,8	15,3	18,3	14,2	39,8
Di	—	—	—	0,4	—	—	—	—
Hy	12,5	6,5	4,9	3,2	17,1	18,8	21,4	4,3
Mt	7,2	4,9	3,7	6,3	3,7	8,4	5,1	2,3
Hm	0,3	—	—	—	—	—	—	2,1
Il	1,4	1,4	1,1	1,1	1,8	2,1	2,0	1,5
Ap	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,3
Cc	—	3,5	—	—	5,6	4,0	6,5	10,0
Sal.	73,9	79,5	86,1	85,3	66,6	61,7	59,2	78,2
Fem.	21,7	16,9	10,0	11,3	28,8	33,9	35,6	20,5

Tabela IV: Nigglijevi parametri

Table IV: Niggli's parameters

	1	2	3	4	5	6	7	8
si	178	184	261	232	143	121	127	174
al	32,0	39,2	38,1	35,7	29,4	26,4	26,6	32,2
fm	43,7	27,4	24,7	27,5	37,3	46,1	44,5	20,6
c	6,1	19,5	12,3	9,9	20,0	17,3	19,5	46,6
alk	18,2	13,9	24,9	26,9	13,3	10,2	9,4	0,6
k	0,06	0,28	0,02	0,01	0,09	0,08	0,08	0,00
mg	0,54	0,33	0,36	0,27	0,53	0,47	0,55	0,39
ti	1,7	1,9	1,7	1,6	2,1	2,2	2,1	1,9
qz	5	38	61	24	-10	-20	-11	72

Na temelju strukturnih i teksturnih karakteristika, osobito kristaliniteta stijena i dimenzija zrna, očito je da se ovdje radi o jednom nizu efuziva. Pri orne stijene prve i druge grupe predstavljaju tipične izljevne stijene, dok eruptivi treće grupe pretežno pripadaju stijenama sa strukturalama sličnim kao kod hipabisalnih magmatita, tj. s krupnijim dimenzijama mineralnih sastojaka. Ovakvu podjelu koristit ćemo također u daljnjim genetskim razmatranjima, te pokušati dati ime, odnosno imena, za primarne magmatske produkte, čije su primarne mineralne parageneze kasnijim procesima izmijenjene u nove, kako je to u gornjem tekstu opisano.

Kemijske karakteristike stijena

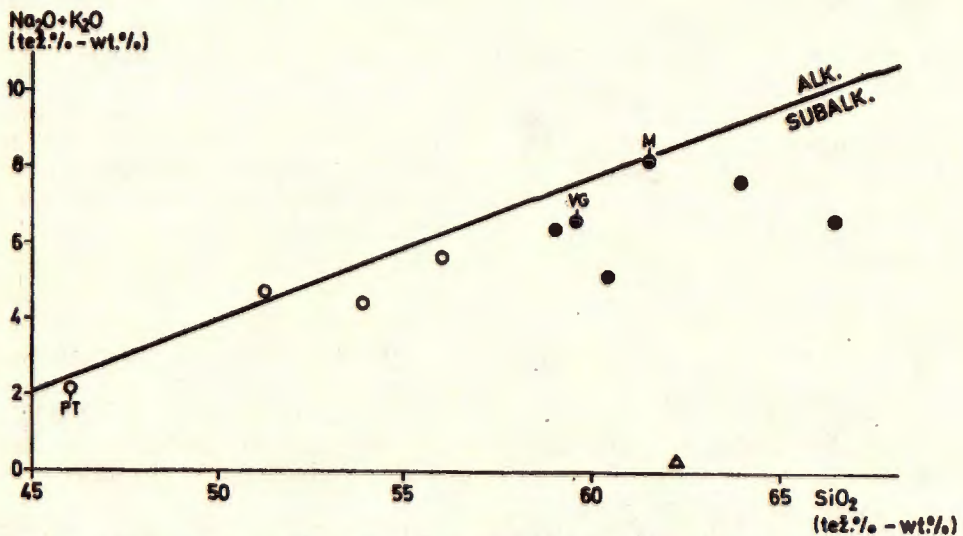
Pri izradi kvantitativnih kemijskih analiza korištene su slijedeće metode: rendgenska fluorescentna analiza (XRF), »analiza disperzije energije rendgenskih zraka« (Energy Dispersive Analysis of X-rays = EDAX) i »metoda induktivno povezane argonove plazme« (Inductively Coupled Argon Plasma = ICAP). Divalentno željezo određeno je titracijom sa standardnom otopinom $K_2Cr_2O_7$.

Podaci kemijskih analiza stijena, zajedno s mikroelementima dani su u tabeli II. Petrokemijske vrijednosti izvedene iz kemijskih analiza stijena dane su u tabelama III i IV. Ako za početak pogledamo sadržaj SiO_2 , vidjet ćemo da on varira od 46,38% do 63,97%, dakle u rasponu od bazičnih ($SiO_2 < 52\%$) do kiselih ($SiO_2 > 63\%$), iako u daleko najvećem broju analiza sadržaj SiO_2 odgovara neutralnim magmatskim stijenama.

Kemizam stijena, posebno karakteristični odnosi nekih elemenata, prikazani su, kako se to danas standardno vrši, nizom dijagrama, kako za makroelemente, tako i za elemente u tragovima.

U dijagramu ($Na_2O + K_2O$) — SiO_2 u sl. 2 većina figurativnih točaka nalazi se u polju subalkalijskih stijena. Doduše, Marićev amfibolski porfirit (oznaka M) i bazalt Čemerikovca kod Donjeg Pazarišta (PT) leže na granici koja odvaja alkalijske od subalkalijskih stijena, dok hornblenda andezit Gornjeg Benkovca kod Fužina (VG), te gotovo svi novi podaci padaju vrlo blizu nje. Međutim, kako su neki makroelementi pri znatnijim izmjenama stijena obično vrlo migrabilni, što se osobito ističe kod jako pumpeliitiziranog eruptiva sa samo 0,17% Na_2O i 0,04% K_2O , zaključke na osnovi položaja figurativnih točaka treba uzimati s rezervom. Za sigurnije određivanje danas se služimo podacima o elementima u tragovima ili u malim količinama, koji su »imobilni« za vrijeme alteracijskih procesa. Tako na primjer, po tom kriterijumu, a prema dijagramu P_2O_5 — Zr (sl. 3), sve figurativne točke padaju izrazito u polje subalkalijskih stijena, što je osobito naglašeno kod grupe neutralnih i kiselih efuziva.

Stijene subalkalijske serije mogu biti članovi jednog od dvaju osnovnih divergentnih nizova: toleitskog ili kalcijско-alkalijskog. Za njihovo odvajanje koriste se danas Miyashirovi dijagrami odnosa FeO^*/MgO prema SiO_2 , TiO_2 i FeO^* . Dijagrami u sl. 4 (FeO^*/MgO) i sl. 5 (SiO_2-FeO^*/MgO) ne daju međutim jednoznačno rješenje, ali se ipak, naročito iz sl. 6 (TiO_2-FeO^*/MgO) naslućuje pripadnost eruptiva Senjske drage kalcijско-alkalijskoj seriji. Da su odlike ovih stijena zaista kalcijско-alkalijske vidi se iz dijagrama SiO_2-Cr u sl. 7, no valja naglasiti da i u ovom slučaju bazični varijeteti padaju u područje prelaza prema



Sl. 2. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ dijagram prema analizama preračunatim na 100,00%, bez H_2O i CO_2 . Granica je između alkalijskog i subalkalijskog polja prema Macdonaldu i Katsurai (1964).

Fig. 2. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ diagram according analyses recalculated up to 100,00% on H_2O and CO_2 free basis. The boundary line between alkalic and subalkalic field is given by Macdonald and Katsura (1964).

Legenda—Symbols:

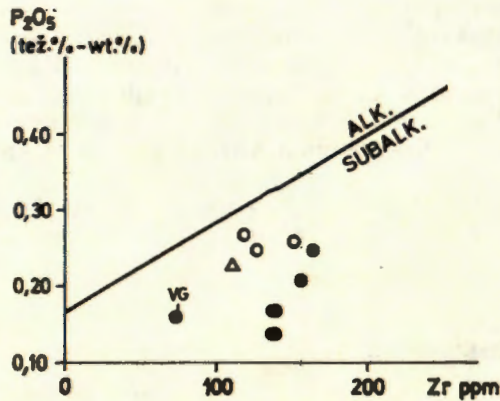
- bazalti — basalts;
- △ pumpeliitizirani bazalt — pumpellyitised basalt;
- andeziti i daciti — andesites and dacites;
- M amfibolski porfirit sa Vratnika (Marić, 1936) — amphibole-porphyrite from Vratnik (Marić, 1936);
- VG hornblenda andezit (porfirit) od Fužina (Vragović i Golub, 1969) — hornblende-andesite (porphyrite) from Fužine (Vragović i Golub, 1969);
- PT bazalt Donjeg Pazarišta (Poljak i Tajder, 1942) — basalt from Donje Pazarište (Poljak i Tajder, 1942).

Napomena: u svim daljnjim dijagramima legenda je ista kao i u sl. 2.

Notice: in all following diagrams the symbols are the same as in fig. 2.

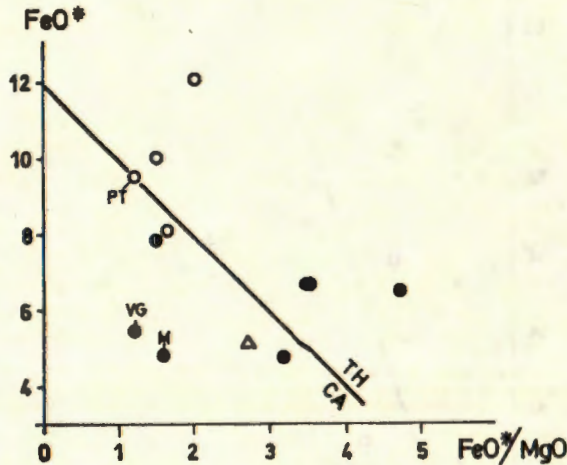
toleitijskoj seriji. Isti zaključci slijede iz dijagrama ACF, AFM i ACM u sl. 8 (a, b i c), i to posebno iz AFM dijagrama, koji obično služi kao standard za uspoređivanje pri ovakvim razmatranjima. Usporedimo li u ovim dijagramima još i položaje eruptiva iz Gornjeg Benkovca (VG) i Donjeg Pazarišta (PT) kao i raniju analizu eruptiva Vratnika (M), jedino bazalt Donjeg Pazarišta pokazuje tipične toleitijske osobine, dok su ostali izrazito kalcijско-alkalijskog karaktera.

Zaključno možemo reći da eruptivne stijene Senjske drage imaju subalkalijski karakter i idu u kalcijско-alkalijsku seriju.



Sl. 3. P_2O_5 —Zr dijagram prema Winchesteru i Floyd (1976). Podaci su iz preračunatih analiza, bez H_2O i CO_2 .

Fig. 3. P_2O_5 —Zr diagram after Winchester and Floyd (1976). Values are given from analyses recalculated on H_2O and CO_2 free basis.

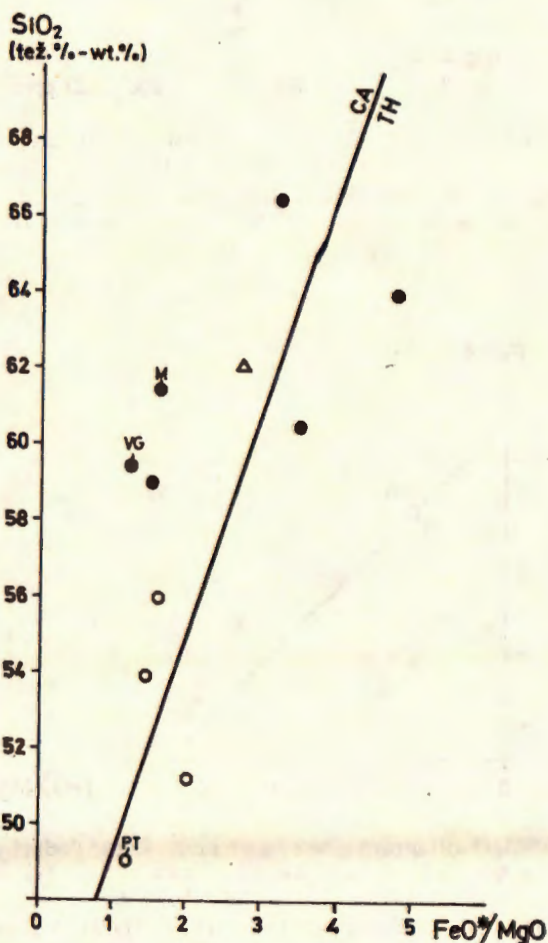


Sl. 4. FeO^* — FeO^*/MgO dijagram (Miyashiro, 1975). Podaci su iz preračunatih analiza, bez H_2O i CO_2 . CA = kalcijsko-alkalijska serija, TH = toleitska serija, $FeO^* = FeO + 0,9 \times Fe_2O_3$.

Fig. 4. FeO^* — FeO^*/MgO diagram (Miyashiro, 1975). Values are given from analyses recalculated on H_2O and CO_2 free basis. CA = calc-alkalic rock series, TH = tholeiitic rock series, $FeO^* = FeO + 0,9 \times Fe_2O_3$.

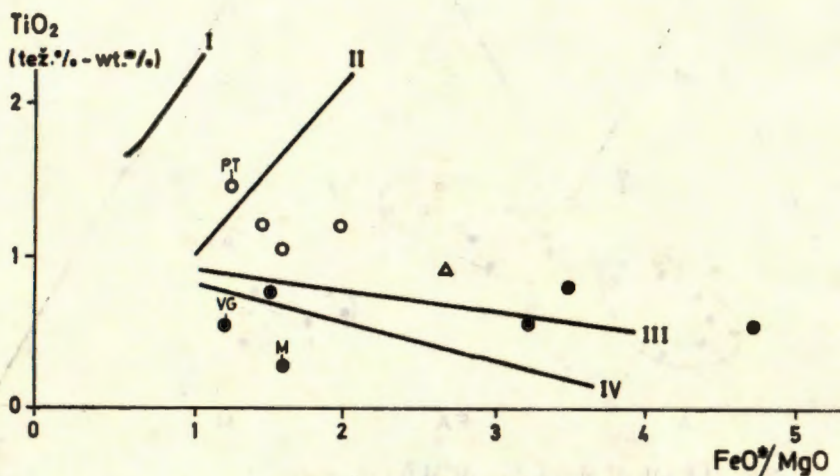
Pokušajmo sad pobliže klasificirati ove stijene, vodeći računa o tome da su one sve više ili manje izmijenjene. U ovakvim slučajevima osobito su se vrijednim pokazale geokemijske karakteristike nekih imobilnih elemenata u tragovima, što su detaljno razradili Floyd i Winchester (1978). Pokazalo se da su odnosi takvih elemenata karakteristični i za sekundarno izmijenjene stijene, pa čak i za metamorfozirane eruptive. Koristit ćemo se dijagramima koji su redom prikazani u slikama 9, 10, 11 i 12.

Iz dijagrama SiO_2 — Zr/TiO_2 u sl. 9 lijepo se vidi da su analizirane stijene subalkalijske i da, vodeći računa o relativno maloj dimenziji erup-



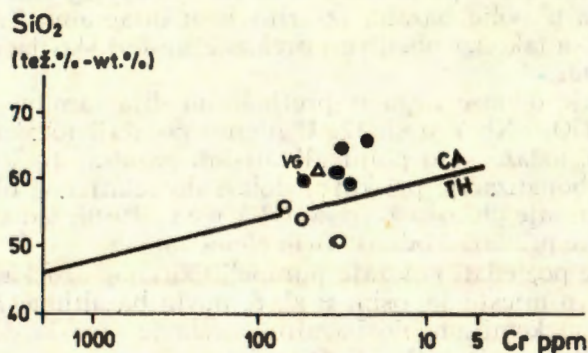
Sl. 5. SiO_2 — FeO^*/MgO dijagram (Miyashiro, 1975). Podaci su iz preračunatih analiza, bez H_2O i CO_2 . CA, TH i FeO^* imaju isto značenje kao i na sl. 4.

Fig. 5. SiO_2 — FeO^*/MgO diagram (Miyashiro, 1975). Values are given from analyses recalculated on H_2O and CO_2 free basis. The symbols CA, TH, and FeO^* have the same meanings as in fig. 4.



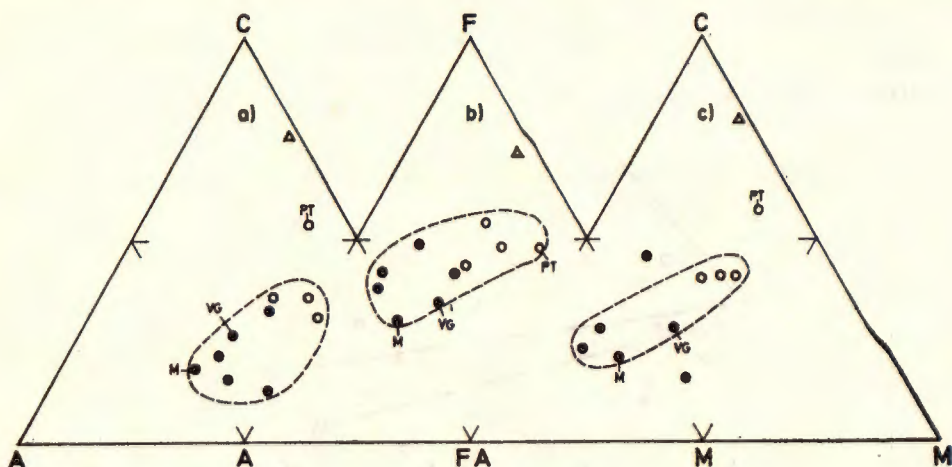
Sl. 6. TiO_2 — FeO^*/MgO dijagram (Miyashiro, 1975). Podaci su iz preračunatih analiza, bez H_2O i CO_2 . I i II pripadaju toleitičkoj seriji (I. Kilauea, II abisalni toleiti), a III i IV kalcijsko-alkalijskoj seriji stijena (III Asama, IV Amagi).

Fig. 6. TiO_2 — FeO^*/MgO diagram (Miyashiro, 1975). Values are given from analyses recalculated on H_2O and CO_2 free basis. I and II belong to tholeiitic rock series (I Kilauea, II abyssal tholeiite), but III and IV are represents of calc-alkalic rock series (III Asama, IV Amagi).



Sl. 7. SiO_2 —Cr dijagram (Miyashiro i Shido, 1975). Podaci su iz preračunatih analiza, bez H_2O i CO_2 . CA = kalcijsko-alkalijska serija, TH = toleitička serija stijena.

Fig. 7. SiO_2 —Cr diagram (Miyashiro and Shido, 1975). Values are given from analyses recalculated on H_2O and CO_2 free basis. CA = calc-alkalic rock series, TH = tholeiitic rock series.



Sl. 8. ACF (a), AFM (b), and ACM (c) diagrams.

Fig. 8. ACF (a), AFM (b), and ACM (c) diagrams.

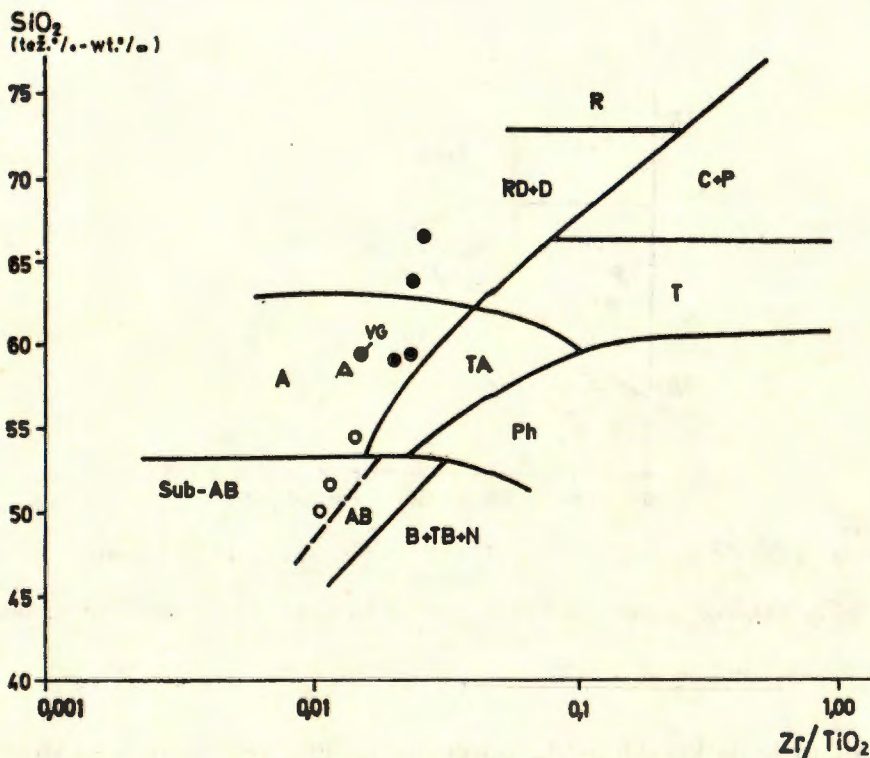
A = $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, C = CaO, F = $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.9 \text{Fe}_2\text{O}_3$, M = MgO.

ktivnog tijela, kemizam stijena ima velik raspon: leže od polja bazalta preko polja andezita do polja dacita i riordacita. Prema dijagramu Zr/TiO_2 —Ce u sl. 10, jasno je da stijene, koje u prethodnom dijagramu padaju u polje dacita i riordacita, odgovaraju samo dacitu. Neutralni eruptivi Senjske drage, zajedno s hornbleda andezitom od Fužina, nalaze se u polju andezita, a bazični u polju bazalta ili na njihovoj granici. Grupiranje bazičnih stijena u polje bazalta izrazito je u dijagramu Zr/TiO_2 —Ga u sl. 11, na kojoj su također uočljive i prelazne, andezitsko-dacitske osobine kiselih varijeteta.

Nešto drukčije odnose nego u prethodnim dijagramima zapažarno u dijagramu Zr/TiO_2 —Nb/Y u sl. 12. U njemu položaji točaka stijena, posebno bazičnih, nalaze se u polju alkalijских bazalta. To je, vjerojatno, posljedica karbonatizacije pri kojoj dolazi do relativnog obogaćenja titana, a osiromašenje cirkona i itrija (H y n e s, 1980), što snažno utječe na vrlo osjetljive primarne odnose ovih elemenata.

Zanimljivo je pogledati položaje pumpelilitiziranog uzorka u svim ovim slikama: njegovo mjesto je, osim u sl. 8, među bazaltima. Ako je zaista njegov originalni kemizam bio bazaltni, onda je moralo doći do jakog sekundarnog obogaćenja SiO_2 i CaO uz istovremeno gotovo potpuno odstranjivanje alkalija, a u manjoj mjeri i magnezija i željeza. Pošto je u ovom uzorku odnos Ca/Sr daleko veći nego u svim ostalim, čini se da je dio kalcija tokom izmjene unesen u sistem izvana.

Prema gornjim kriterijima slijedi da je magmatsko tijelo Senjske drage primarno bilo izgrađeno iz više vrsta stijena: bazalta, andezita i dacita. Makar se o volumnom udjelu pojedinih stijena ne može sa sigurnošću govoriti, ipak, nakon pregleda brojnih uzoraka koji u osnovi reprezentiraju cijelo eruptivno tijelo, smatramo da je ono bilo daleko pretežno izgrađeno od andezita, no dijelom s prelaznim, andezitsko-bazaltnim i andezitsko-dacitskim osobinama.

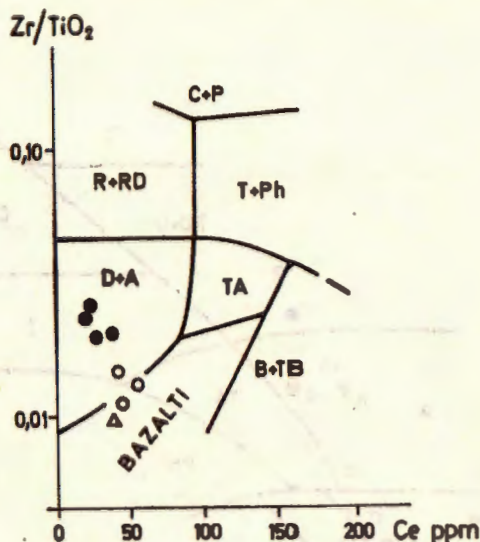


Sl. 9. SiO₂—Zr/TiO₂ dijagram Floyd i Winchester, 1978). Podaci za SiO₂ su iz preračunatih analiza, bez H₂O i CO₂.

Fig. 9. SiO₂—Zr/TiO₂ diagram Floyd i Winchester, 1978). Values for SiO₂ are given from analyses recalculated on H₂O and CO₂ free basis.

Legenda — Symbols

- Sub—AB subalkalijski bazalti (toleitijski i visokoaluminijski) — sub-alkaline basalts (tholeiitic and high-alumina);
- A andeziti — andesites;
- RD+D riodaciti i daciti — rhyodacites and dacites;
- AB alkalijski bazalti, hawaiiiti, mugeariti i trahibazalti — alkali basalts, hawaiites, mugearites, and trachybasalts;
- B+TB+N bazaniti, trahibazaniti i nefeliniti — basanites, trachybasanites, and nephelinites;
- TA trahandeziti — trachyandesites;
- Ph fonoliti — phonolites;
- T trahiti — trachytes;
- C+P komenditi i panteleriti — comendites and pantellerites.



Sl. 10. Zr/TiO₂—Ce dijagram (Floyd i Winchester, 1978). Legenda je ista kao i u sl. 9.

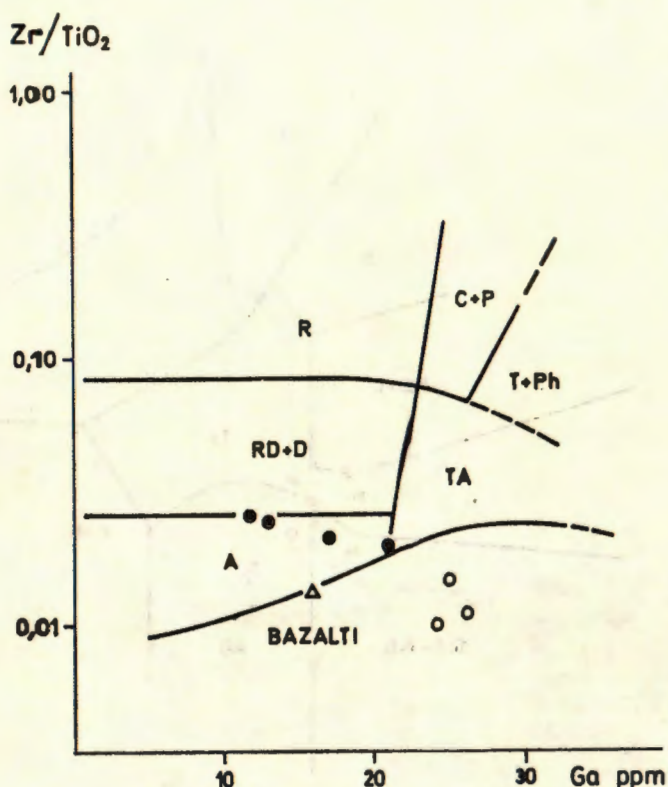
Fig. 10. Zr/TiO₂—Ce digram (Floyd and Winchester, 1978). The symbols as in fig. 9.

Poznato je da karakteristike određene serije efuzivnih stijena stoje u direktnoj vezi s njihovim geotektonskim položajem, tj. s mjestom stvaranja, odnosno plasiranja magmi koje daju seriju. Za iznalaženje geotektonskog položaja za ovdje istražene stijene, pored već postojećih podataka u geološkoj karti i terenskih zapažanja, poslužiti će nam i dijagrami: Ti—Zr (sl. 13), Zr—Ti/100—Sr/2 (sl. 14) i Zr—Ti/100—Yx3 (sl. 15). Iako su ovi dijagrami pravljene prvenstveno za svježe bazične efuzivne stijene (Pearce i Cann, 1973), korisni zaključci mogu se izvući i za naše izmijenjene stijene, tim više što dio njih i jest bazičan. U sl. 13 sve eruptivne stijene Senjske drage, kao i fužinski hornblenda andezit, nalaze se u polju kalcijско-alkalijskih bazalta i andezita. Slično je i u sl. 14, ali su kiseli varijeteti i pumpeliitizirani uzorak izvan granica svih polja. Iz sl. 15 jasno se vidi da stijene, ranije označene kao andeziti i daciti, preferiraju polje kalcijско-alkalijskih bazalta, dok se bazalti projiciraju u polje »within-plate« bazalta, ili u njegovoj blizini.

ZAKLJUČAK

Eruptiv Senjske drage je predgornjotrijaske i to ladiničke starosti. Ovo tijelo ima alohton položaj, ali tokom izdizanja u sadašnji položaj nije pretrpjelo veći prostorni pomak.

Prvi produkti kristalizacije i efuzije su bazalti, koji volumno čine tek manji dio eruptivnog tijela. Glavnu masu eruptiva i glavnu fazu efuzije

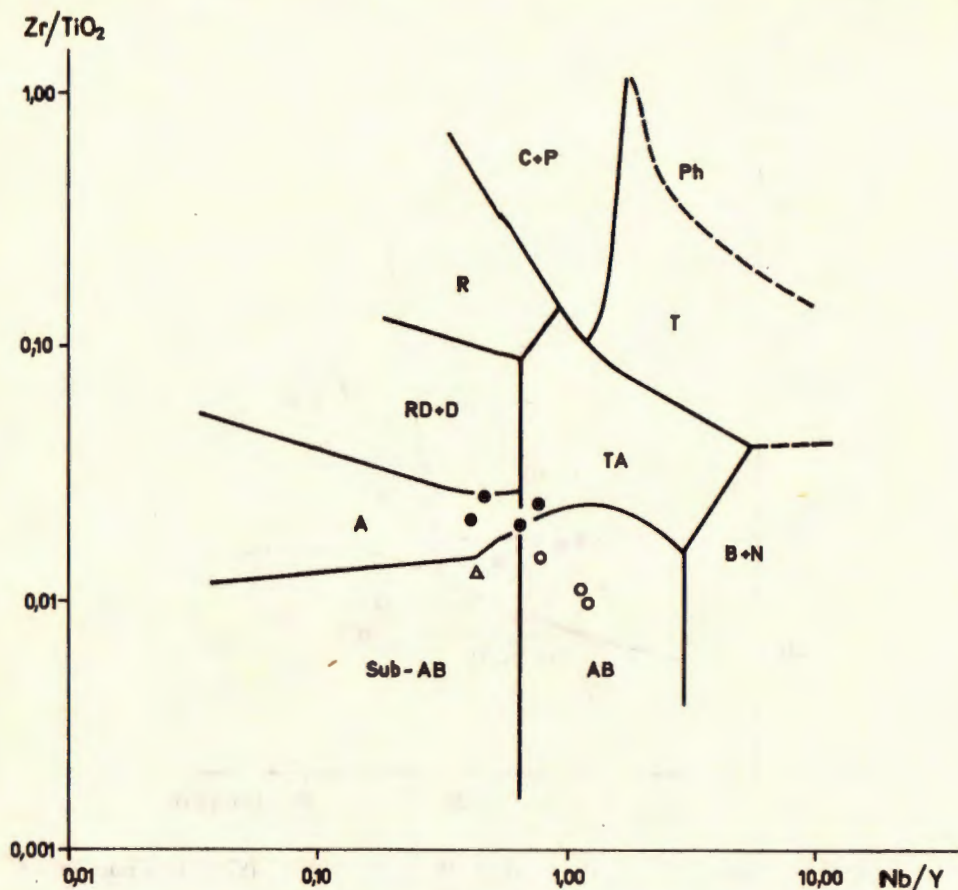


Sl. 11. Zr/TiO_2 —Ga dijagram (Floyd i Winchester, 1978). Legenda je ista kao i u sl. 9.

Fig. 11. Zr/TiO_2 —Ga diagram Floyd and Winchester, 1978). The symbols as in fig. 9.

čine andeziti zajedno s podređenom količinom dacita. Njihova efuzija slijedila je kratkotrajno nakon konsolidacije bazalta, čije anklave nalazimo u andezitima. Stijene su dijelom kristalizirale u subvulkanskom nivou a dijelom u plicem nivou, pa i na samoj površini. Sve ove stijene pripadaju jednoj seriji koja ima subalkalijske, odnosno preciznije rečeno, kalcijsko-alkalijske osobine.

Hornblenda andezit Fužina svojim odlikama sasvim se podudara s andezitima Senjske drage, što očito govori za njihovu genetsku povezanost i porijeklo. Vjerojatno ista podudarnost postoji i kod ostalih spomenutih, dosad neistraženih eruptiva u Velebitu. Međutim, bazalt Donjeg Pazarišta, na temelju postojećih podataka, razlikuje se od eruptiva Senjske drage. To je bazalt s toleitskim osobinama i jasno se izdvaja od bazalta i andezita Senjske drage i Fužina. S obzirom na kemijske karakteristike stijerna i odnose elemenata, i to kako makroelemenata, tako i specifičnih elemenata u tragovima, osobito »imobilnih«, te mogućnosti njihovog korištenja za određivanje porijekla i geotektonske pozicije mag-

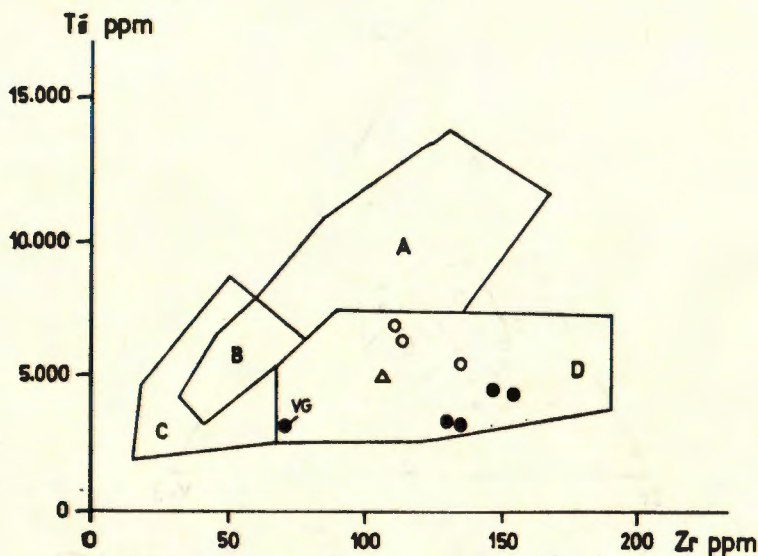


Sl. 12. Zr/TiO₂-Nb/Y dijagram (Floyd i Winchester, 1978). Legenda je kao i u sl. 9.

Fig. 12. Zr/TiO₂-Nb/Y diagram (Floyd and Winchester, 1978). The symbols as in fig. 9.

matizma, svi podaci idu u prilog zaključku da se ovdje radi o u biti intermedijarnom magmatizmu vezanom na kontinentalno područje odnosno prostor.

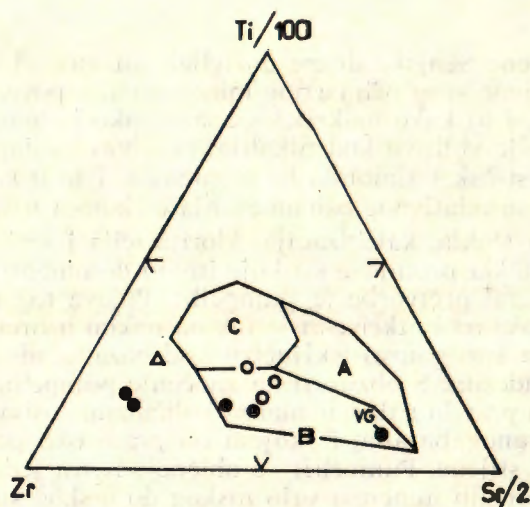
Prema novijim gledanjima na probleme magmatizma u skladu s teorijom tektonike ploča, ove bi stijene mogli vezati za procese parcijalnog taljenja unutar ili u bazi kontinentalne ploče (Gill, 1980). Osobine tog taljenja, dubina na kojoj se ono odigralo, zatim sastav edukta, količina rastaljenog materijala, itd ... čak i za šire područje Vanjskih i Unutrašnjih Dinarida, nisu za sada dovoljno istražene i jasne. O tom problemu pisao je Pamić (1980). Usprkos tome, skloni smo ovdje istražene stijene povezati s ostalim trijaskim magmatitima u Vanjskim Dinaridima, osobito s onima u perijadranskoj zoni, pri čemu svakako u pojedinim regijama postoje određene specifičnosti kako razvoja, tako i tipova stijena.



Sl. 13. Ti—Zr dijagram (Pearce i Cann, 1973).

Fig. 13. Ti—Zr diagram Pearce and Cann, 1973).

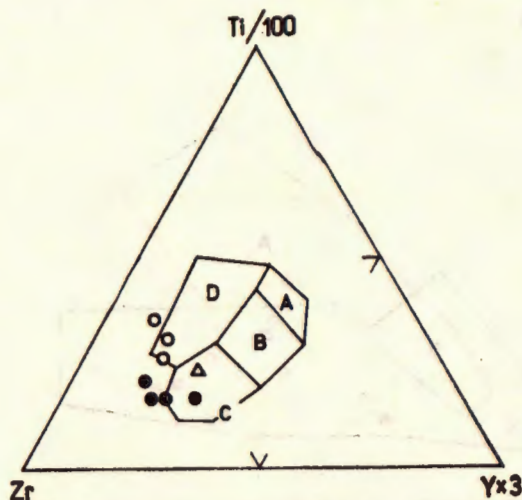
- A+B polja bazaltâ s oceanskog dna — fields of ocean-floor basalts;
 B+C polja toleitiâ s niskim sadržajem alkalija — fields of low-alkali tholeiites;
 B+D polja kalcijsko-alkalijskih bazaltâ i andezita — fields of calc-alkali basalts and andesites.



Sl. 14. Zr—Ti/100—Sr/2 dijagram (Pearce i Cann, 1973).

Fig. 14. Zr—Ti/100—Sr/2 diagram (Pearce and Cann, 1973).

- A polje toleitiâ s niskim sadržajem alkalija — field of low-alkali tholeiites;
 B polje kalcijsko-alkalijskih bazaltâ — field of calc-alkali basalts;
 C polje bazaltâ s oceanskog dna — field of ocean-floor basalts.



Sl. 15. Zr—Ti/100—Yx3 dijagram Pearce i Cann, 1973).

Fig. 15. Zr—Ti/100—Yx3 diagram (Pearce and Cann, 1973).

- A+B polja toleitiâ s niskim sadržajem alkalija — fields of low-alkali tholeiites;
 B+C polja kalcijsko-alkalijskih bazaltâ — fields of calc-alkali basalts;
 D polje »within-plate« bazaltâ — field of within-plate basalts.

Eruptivne stijene Senjske drage doživljele su jače ili slabije postkonsolidacijske izmjene svog primarnog mineralnog, a povezano s tim, i kemijskog sastava, i to kako makroelemenata, tako i elemenata u tragovima. To je najbolje vidljivo kod alkalija, posebno kalija, ali su narušeni i primarni odnosi čak i »imobilnih« elemenata, i to u smislu povećanja sadržaja titana, te relativnog osiromašenja cirkona i itrija.

Devitrifikacija stakla, kalcitizacija, kloritizacija i sericitizacija pojedinih minerala i stakla promjene su koje imaju dominantno značenje. Novootkriveni mineral pretvorbe je pumpeliit. Pojava tog minerala, međutim, sasvim je lokalna i otkrivena je tek na nekim uzorcima samo u baznom dijelu tijela i to gotovo isključivo kod bazalta, ali u samo jednom slučaju i kod andezita. S obzirom na značenje pumpeliita važno je istaknuti da se on u pravilu nalazi u malim količinama, osim u jednom uzorku pumpeliitiziranog bazalta, u kojem on gradi oko pedeset volumnih postotaka cijele stijene. Pumpeliit se obično smatra jednim od karakterističnih metamorfničkih minerala vrlo niskog do niskog stupnja metamorfizma (Mueller i Saxena, 1977). U slučaju eruptiva Senjske drage i okolnih sedimentnih stijena, na temelju pojave pumpeliita u eruptivu, ne može se govoriti o metamorfizmu regionalnih razmjera. Dakle, pojavu i genuzu pumpeliita i ostalih sekundarnih minerala u ovom eruptivu treba vezati na specifične postmagmatske metamorfne procese u postkonsolidacijskoj fazi hidrotermalnih izmjena eruptiva.

Kvarc je prisutan u svim analiziranim stijenama, ali se njegovo prisustvo u većini uzoraka može dokazati tek rendgenografskom analizom. U dacitima i nekim andezitima on je nesumljivo primaran. No, u većini andezita i svim bazaltima kvarc je očito sekundarni mineral, nastao procesima pretvorbe.

ZAHVALE

Autori se zahvaljuju osoblju Geotehničkog instituta Arsenal u Beču, posebno direktoru prof. dr E. Schrollu te suradnicima Instituta dr P. Dolezalu i D. Pholidadisu na pomoći pri izradi kompletnih kemijskih analiza stijena. Boravak u Beču bio je omogućen dvomjesečnom stipendijom koju je dodijelilo Savezno ministarstvo za znanost i istraživanje austrijske vlade uz preporuku direktora Austrijskog kulturnog instituta u Zagrebu, dr B. Kunza. Za analize minerala mikrosondom, koje su izrađene u Prirodnjačkom muzeju, mineraloško-petrografski odjel, u Beču, autori se zahvaljuju dr G. Niedermayru i dr. F. Brandstätteru.

Terenska i ostala istraživanja obavljena su financijskim sredstvima Republičke zajednice za znanost SR Hrvatske (SIZ-III). Pomoć pri laboratorijskim istraživanjima pružilo je stručno osoblje Zavoda za mineralogiju, petrologiju i ekonomsku geologiju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.

Istraživanja eruptiva Senjske drage dio su sistematskih istraživanja magmatskih mezozojskih stijena u Jugoslaviji i uklapaju se u projekt IGCP (Međunarodni program geološke korelacije) UNESCO-a, koji za radove u našoj zemlji organizira Jugoslavenska komisija zadužena za taj projekt.

Na kraju autori se zahvaljuju dr S. Karamati, dr M. Vragoviću i dr J. Pamiću za kritički pregled rukopisa i korisne sugestije.

Primljeno 21. 11. 1982.

LITERATURA

- Barić, (1969): Eruptivgesteine (albitisierte Diabase) in der Umgebung von Sinj in Dalmatien. — *Geol. vjesnik*, 22, 349—410, Zagreb.
- Floyd, P. A. i Winchester, J. A. (1978): Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. — *Chem. Geol.*, 21, 291—306.
- Gill, J. B. (1981): Orogenic andesites and plate tectonics. — Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York, 390 str.
- Golub, Lj. i Vragović, M. (1975): Eruptivne stijene dalmatinskih otoka (Vis, Jabuka i Brusnik). — *Acta geologica JAZU*, 8/4, 41, 19—63, Zagreb.
- Grafenauer, S. (1980): Petrologija triadnih magmatskih kamnin na Slovenskem. — *Dela SAZU*, 25, Ljubljana, 220 str.
- Hey, M. H. (1954): New review of the chlorites. — *Min. Mag.*, 30, 277—292.
- Hynes, A. (1980): Carbonitization and mobility of Ti, Y, and Zr in Ascot formation metabasalts, SE Quebec. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 75, 79—87.
- Knežević, V. (1975): Trijaske magmatske stene Crne Gore. — *Acta geologica JAZU*, 8/8, 41, 107—147, Zagreb.

- Koch, F. (1933): Tumač za geološku kartu Senj—Otočac (1:75.000). — Povremena izdanja Geol. inst. Kr. Jugoslavije, Beograd.
- Macdonald, G. A. i Katsura, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian lavas. — *Jour. Petrol.*, 5, 82—133.
- Mamužić, P. i Milan, A. (1973): Tumač za list Rab. (OGK SFRJ 1:100.000). — Savezni geol. zavod, 1—39, Beograd.
- Mamužić, P., Milan, A., Korolija, B., Borović, I., Majcen, Ž. i suradnici (1969): Osnovna geološka karta SFRJ — list Rab. (1:100.000). — Savezni geol. zavod, Beograd.
- Marić, L. (1936): Amfibolski porfirit sa Vratnika nad Senjom. — *Glasnik Hrv. prir. dr.*, 41—48, 149—155, Zagreb.
- Miyashiro, A. (1975): Classification, characteristics, and origin of ophiolites. — *Jour. Geol.*, 83, 249—281.
- Miyashiro, A. i Shido, F. (1975): Tholeiitic and calc-alkalic series in relation to the behaviors of titanium, vanadium, chromium, and nickel. — *Am. Jour. Sci.*, 275, 265—277.
- Mueller, R. F. i Saxena, S. K. (1977): Chemical petrology with applications to the terrestrial planets and meteorites. — Springer—Verlag, New York—Heidelberg—Berlin, 394 str.
- Pamić, J. (1980): Položaj trijaskih magmatsko-metalogenetskih kompleksa u geološkoj građi Dinarida. — Simpozijum iz reg. geol. paleont., 260—274, Beograd.
- Pearce, J. A. i Cann, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, 290—300.
- Poljak, J. i Tajder, M. (1942): Bazalt Čemerikovca kraj Donjeg Pazarišta u Velebitu. — *Vjestnik Hrv. drž. geol. zavoda*, 1, 93—103, Zagreb.
- Tajder, M. (1965): Eruptiv područja Senjske drage. — *Ljetopis JAZU*, 70, 345—347, Zagreb.
- Tučan, F. (1907): Naše kamenje. — *Zemljopis Hrvatske*, II dio, p. 31, Zagreb, 151 str.
- Vragović, M. i Golub, Lj. (1969): Hornblenda andezit (porfirit) Gornjeg Benkovca kod Fužina (Gorski Kotar). — *Acta geologica JAZU*, 6, 36, 55—66, Zagreb.
- Winchester, J. A. i Floyd, P. A. (1976): Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28, 459—469.

Magmatic rocks of Senjska Draga (Vratnik) near Senj (Croatia, Yugoslavia)

B. Lugović and V. Majer

In the peri-Adriatic region of the Outer Dinarides, including the Dalmatian islands, we encounter many isolated outcrops of igneous rocks. The igneous body of Senjska Draga belongs to this magmatic group. The next nearest outcrop of igneous rocks is near Donje Pazarište in Mt. Velebit (basalts) and near Fužine in the Gorski Kotar region (hornblende andesite, i.e. porphyrite).

In earlier works, the magmatic rocks of Senjska Draga are mentioned as porphyrites, diabase-porphyrites and amphibole-porphyrites. However, there seems to be no conflict as to the age of magmatism which happened in the Ladinian.

A simplified account regarding geological relations of the more immediate region of magmatites of Senjska Draga is given in fig. 1. Clastic sediments of the Carnian, in which we find pebbles originated from these eruptives, lie transgressively upon them. Contacts between the eruptives and carbonate sediments of the Upper Triassic and Jurassic are of fault characteristics.

On the basis of texture, rocks of Senjska Draga may be grouped as follows:

1. Rocks of distinct porphyritic texture with microcrystalline to cryptocrystalline groundmass being generally devitrified volcanic glass,
2. Rocks of distinct porphyritic texture with microcrystalline to cryptocrystalline groundmass but without devitrified volcanic glass, and finally
3. Rocks with lesser emphasised porphyritic texture gradually grading into the seriate texture.

Within the first group belong rock samples 1, 2 and 8 shown in table II; within the second group specimens 3 and 4, and partly 5, whilst rock samples 6 and 7 belong to the third group. At the base of the magmatic body, spherical to elliptical protoclasts of rocks belonging to the third group, are found inserted in the magmatic material, which is similar to the rocks of the first and second group.

The primary mineral paragenesis of these rocks, excluding rare exceptions, are very altered and contain substantial amounts of secondary minerals. The rocks have similar mineral assemblage: sodic plagioclase, chlorite, quartz, calcite, epidote/zoisite, sericite, and as accessories contain opaque minerals, apatite, zircon and sphene. It must be emphasised that the voluminal participation of these minerals in individual rocks varies to a great extent which reflects upon the total chemistry of the rocks as a whole. Furthermore, small amounts of pumpellyite were found in rock samples 2 and 6. However, in sample 8 the content of pumpellyite was found to be more than 50 vol. %. Together with quartz and insignificant amounts of calcite and zoisite (there are no traces of any plagioclase!), in this sample, pumpellyite is the only major mineral. In rock sample 2 granite was found, whose presence seems to indicate it being a protoclast.

Microprobe analyses of pumpellyite, granite and chlorite from rock sample 2, as well as pumpellyites from sample 8 are given in table I. Granite is dominantly almandinic (75.5 mol. %). Chlorite has a transitional brunsvigite-pycnochlorite chemistry. In this rock sample, relicts of plagioclase, according to microprobe analyses, have a mean content of 4.5 mol. % an and 0.7 mol. % or. However, one analysis shows the presence of plagioclase with 20.2 mol. % an and 0.4 mol. % or. In rock sample 8 pumpellyites, due to their FeO/MgO ratio, may be classified into two types.

Due to the textural and structural characteristics of these rocks, it is quite evident that we are dealing with a particular series of extrusive rocks. To support this we have the chemical analyses of the rocks (table II) and derived from them the petrochemical values (tables III and IV). The chemical analyses were made through the combined use of the XRF, EDAX and ICAP methods.

The chemistry of the rocks, particularly the characteristic relations between some elements, are represented by a series of diagrams for both macroelements and trace elements. Also shown in the diagrams are data from earlier analyses of amphibole-porphyrite from Vratnik (i. e. Senjska Draga — symbol M), basalt from Čemerikovac near Donje Pazarište in Mt. Velebit (PT) and hornblende-andesite from Gornji Benkovac near Fužine in the Gorski Kotar region (VG). From the diagrams in figs. 2 and 3, it may be concluded that practically all of these rocks have a sub-alkali character. Sub-alkali rocks, however, may be members of the tholeiitic or calc-alkali series. If this is the case, then this would mean that the discriminatory diagrams in figs. 4 and 5 do not have an unambiguous solution. However, in figs. 6 and 7, figurative points for rocks of Senjska Draga are found in the calc-alkali field, but it must be noted that basic varieties fall within the transgressive area towards the tholeiitic field. Similar conclusions may be drawn from the ACF, AFM and ACM diagrams which are shown in Fig. 8 (a, b, and c).

Finally, it may be concluded that igneous rocks of Senjska Draga are sub-alkalic and that they have evidently more pronounced characteristics of the calc-alkali series than of the tholeiitic one. Of all the rocks which we have compared with those analysed, only does the basalt of Čemerikovac shows any tholeiitic characteristics, whilst the other two have distinct calc-alkali characteristics.

As it has been mentioned earlier, the primary paragenesis of these igneous rocks of Senjska Draga are essentially altered, so that, based on their present mineral and chemical composition, these rocks are difficult to classify. This is very easily seen by the position of the pumpellyitised sample in figs. 9, 10, 11 and where, all but in one case, it is found within the basalt field. If its original chemistry was

in fact basaltic, then this would indicate a strong secondary enrichment of SiO_2 and CaO , with simultaneous extraction of practically all alkalis and to a smaller extent magnesium and iron. Seeing that in this sample the Ca/Sr ratio is much higher than in all the others, this would indicate that part of lime, during the exchange, was brought into the systems from an outside source. Similarly, this also happened with the other rocks but, of course, not to such an extent. Therefore, on the basis of microelements relations, which were »immobile« during alteration and which are shown in figs. 9, 10, 11 and 12, it may be concluded that the igneous body of Senjska Draga was primarily composed of more rock types: basalts, andesites and dacites. Although we cannot speak with absolute certainty about the voluminous portion of individual rocks, we can, however, after the analyses of numerous samples, which basically represent the whole magmatic body, consider that it was predominantly built of andesites, some being partly transitional having andesite-basaltic and andesite-dacitic characteristics.

In revealing the geotectonic setting of the rocks explored in this area, we shall resort to the diagrams in figs. 13, 14 and 15. Although these diagrams were primarily made for fresh basic extrusive rocks, they may be of great help for the interpretation of these altered rocks, even more so, being that some of them are indeed basic. In fig. 13, all the extrusive rocks of Senjska Draga, as well as the hornblende-andesite near Fužine, are found in the calc-alkali basalt and andesite field. The situation is similar in fig. 14, the difference being that the acidic specimens and pumpellyitised sample lie outside of all fields. In fig. 15, it is clearly seen that rocks, earlier designated as andesites and dacites, lean towards the field of calc-alkali basalts, whilst the basalts themselves project into the field of within-plate basalts or within their vicinity.

Conclusion. Magmatic rocks of Senjska Draga are of the Ladinian age. Their position is allochthonous and whilst being uplifted into their present position, the body itself did not endure any greater space displacement. This body is not homogenous and uniform. It is very altered and therefore the result of complex, polyphased genetic mechanisms.

The first product of crystallisation were the basalts, which, by volume, represent only a minor part of the magmatic body as a whole. The main mass of the magmatic body, as well as the main phase of extrusion is represented by the andesites together with the minor volume of dacites. Their extrusion followed shortly after the consolidation of basalts. Some of the rocks crystallised in the sub-volcanic level, some in the superficial level, whilst others even on the surface. All of these rocks belong to a series which has a sub-alkali, or to put it more precisely, a calc-alkali character.

Hornblende-andesite from the Fužine area entirely corresponds to the andesites of Senjska Draga, which clearly indicates their genetic connection as well as origin. It is quite possible that the same connection and concurrence may be found in the other, as of yet, unexplored extrusives of Mt. Velebit. The same, however, cannot be said for the basalts of Čemerikovac near Donje Pazarište, for they have a tholeiitic character and their age is indicated as being of the post-Miocene. With regard to the data and characteristics given in the foregoing text, everything said seems to indicate that we are dealing with, in general, intermediary magmatism linked to the continental area and this in turn, in regard to processes of partial melting within or at the base of the continental plate. The authors believe that the rocks explored may be linked with those in the peri-Adriatic zone, keeping in mind, however, that in particular regions exist certain specifics in development as well as in rock types.

Extrusive rocks of Senjska Draga experienced, either stronger or weaker, post-consolidational alterations of their primary mineral compositions. This is the best seen through the alkalis, particularly through potash. However, even the primary relations amongst the »immobile« elements have been disturbed in such a way that there is an increase in the content of titanium and a relative decrease in zirconium and yttrium content.

Devirification of glass, calcitization, chloritization and sericitization of certain minerals and glass, are processes which have a dominant significance. Pumpellyite is the newly discovered mineral of transformation. The occurrence of this mineral was found in some samples, being at the base of the magmatic body primarily

amongst basalts, whilst very seldom amidst andesites. In view of the significance of pumpellyite, it is important to point out that it is principally found in minor amounts, the exception being in one sample of pumpellyitised basalts where it constitutes approximately fifty percent of the rock volume. In the case of the extrusives of Senjska Draga and surrounding sedimentary rocks, based on the occurrence of pumpellyite in the extrusives, there can be no mention of metamorphism in a regional sense. Therefore, the occurrence and genesis of pumpellyite, as well as other secondary minerals in this extrusive body, must be accredited to specific post-magmatic metamorphic processes during hydrothermal alterations of the extrusive body in the post-consolidational phase.

Cryptocrystalline to microcrystalline quartz is present in all of the analysed samples. In dacites and in some andesites it is unquestionably primary. However, in most other andesites, but in all basalts, quartz is a secondary mineral, originated through transformational processes of primary minerals.