GEOLOGIJA

GEOLOGICAL TRANSACTIONS AND REPORTS

RAZPRAVE IN POROČILA

Ljubljana · Letnik 1968 · 11. knjiga · Volume 11

RAZVOJ MAGMATSKIH IN PIROKLASTIČNIH KAMENIN V OKOLICI BAKROVEGA RUDIŠČA BOR

Matija Drovenik

Z 26 slikami med tekstom ter z 1 sliko in 4 tablami slik v prilogi

VSEBINA

Kratka vsebina 6
Uvod 6
Zaporedje plasti od paleozoika do spodnje krede 8
Mlajši paleozojski skrilavci 8
Liadni konglomerat in peščenjak 9
Zgornjejurski apnenec 9
Spodnjekredni apnenec 10
Albijski peščenjak in konglomerat 11
Zaporedje zgornjekrednih plasti 12
Senonski peščenjak in apneni pelit 12
Piroklastične kamenine 14
Piroklastične kamenine rogovačno biotitnega andezita 14
Vulkanska breča in aglomerat 15
Tuf in tufit 30
Piroklastične kamenine rogovačnega andezita 37
Vulkanska breča 37
Piroklastične kamenine piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega, rogovačnega in mandeljnastega piroksenovega andezita 41
Vulkanska breča 42
Tuf in tufit 47
Piroklastične kamenine rogovačno biotitnega dacita 48
Piroklastične kamenine rogovačnega dacita 50
Borski konglomerat 57
Borski pelit s tufom in tufitom 60
Magmatske kamenine 63
Globočnine 63
Plagiogranit 63
Diorit 64
Žilnine 65
Kremenov dioritni porfir 65
Predornine 68
Dosedanji literaturni podatki 68
Rogovačno biotitni andezit 70
Rogovačni andezit 76
Piroksenov andezit 84

Piroksenovo rogovačni in rogovačno piroksenov andezit . . . 87
Piroksenovo biotitni andezit 89
Rogovačno biotitni dacit 90
Starost piroklastičnih kamenin in predornin v širši okolici rudnika Bor 95
Petrološke značilnosti magmatskih in piroklastičnih kamenin ter razvoj magmatizma 97
Geneza magmatskih kamenin v okolici rudnika Bor 106
Sklep 108

KRATKA VSEBINA

V letih 1956 do 1959 sem raziskal širšo okolico Bora in izdelal geološko karto v merilu 1:25.000, ki je zajela 150 km². Pri kartiranju sem zbral vzorce magmatskih, piroklastičnih in klastičnih kamenin ter jih mikroskopsko in kemično analiziral. Moj namen je bil, razložiti prostorsko razmerje magmatskih in piroklastičnih kamenin ter zaporedje njihovega nastajanja.

Raziskave so me privedle do sklepa, da se je podmorsko vulkansko delovanje v širši okolici Bora začelo šele konec zgornje krede, najbolj verjetno v senonu in v tej stopnji doseglo tudi svoj paroksizem. Možno je, da so delovali nekateri vulkani še v paleogenu, vendar za takšno trditev nimamo zanesljivih biostratigrafskih podatkov.

Predornine in piroklastične kamenine so nastale v dveh vulkanskih fazah. V prvi fazi so skrepeneli rogovačni, rogovačno biotitni in mandeljnasti piroksenov andezit ter rogovačni in rogovačno biotitni dacit. Istočasno so podmorski vulkani izvrgli velike količine piroklastičnega materiala. Andeziti in daciti pripadajo v glavnem dioritskemu, peleeitskemu in kremenovo dioritskemu tipu magme. Kamenine prve vulkanske faze najdemo le vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Zahodno od te črte leže kamenine druge vulkanske faze. Gre za rogovačni, piroksenov, rogovačno piroksenov, piroksenovo rogovačni, mandeljnasti piroksenov in piroksenovo biotitni andezit. Ti različki so kristalili v glavnem iz levkogabroidne magme. Spremljajo jih debele plasti piroklastičnih kamenin.

V paleogenu je v dobi laramijske orogeneze ponovno oživela magmatska aktivnost; vzdolž longitudinalnih dislokacij so se vnedrili čok diorita, čok kremenovega diorita in žile kremenovo dioritnega porfira. Tem magmatskim kameninam so sledile hidrotermalne raztopine, ki so povzročale močne spremembe v piroklastičnih kameninah in predorninah. V širši okolici Bora so nastale tedaj tri velike hidrotermalno spremenjene cone; v njih nastopajo rudišča bakra.

UVOD

V letih 1948 do 1958 so na timoškem območju magmatskih kamenin z rudarskimi deli in vrtanjem raziskovali nahajališča bakrove rude, ki so jih nakazovali površinski znaki. Pri spremljavi teh raziskav sem zbral mnogo podatkov, ki sem jih nato v letih 1956 do 1959 uporabil pri študiju geneze bakrovih rudišč in njihove zveze z magmatskimi procesi v zgornji kredi in terciarju. Posebej me je zanimalo, kdaj je nastalo rudišče Bor, kjer nahajamo bakrovo orudenenje v glavnem v piritnih telesih: Ali gre za zgornjekredno

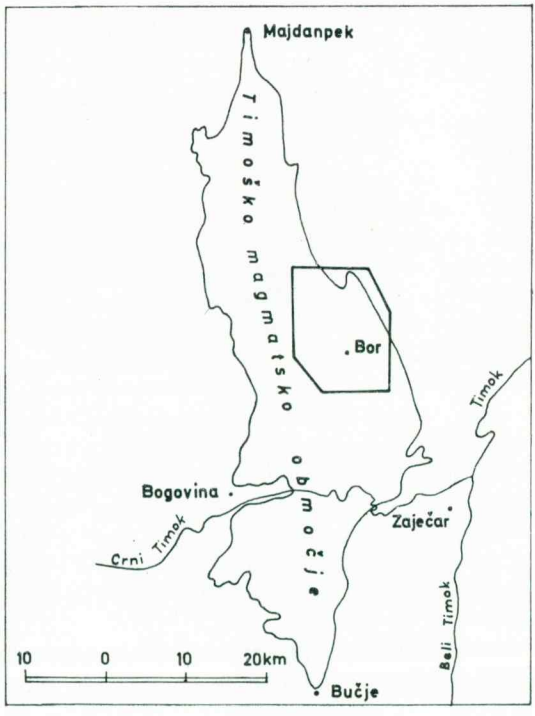
orudenenje, ali pa za terciarno v zvezi s paleogenskimi plutoniti, subvulkanskimi andeziti (C i s s a r z, 1956), z oligocenskimi daciti (M a r i ć, 1957), oziroma z mlajšo diferenciacijo magme v jedru alpskega orogena (C l a r, 1946).

Rezultate raziskav sem zbral v disertaciji, ki sem jo uspešno zagovarjal pred komisijo fakultete za naravoslovje in tehnologijo univerze v Ljubljani leta 1961. Nekatere podatke iz disertacije sem uporabil v razpravi o magmatizmu in geološki zgradbi timoškega eruptivnega območja, ki sem jo objavil skupaj z geologi Geološkega zavoda LR Srbije (M. D r o v e n i k in drugi, 1962).

V tem članku bom podal le del študije o petrologiji širše okolice Bora. Poglavji o tektoniki in starosti borskega rudišča bom priključil drugemu članku, ki bo posvečen geologiji in orudenenju borskega rudišča.

Z intenzivnimi rudarskimi in geološkimi raziskavami v okolici Bora so pričeli v začetku tega stoletja. Najbogatejše telo, Čoka Dulkan, so našli s sledilnimi in raziskovalnimi deli, ki jih je vodil inženir Š i s t e k že leta 1903. Nekaj let kasneje je L a z a r e v i ć (1912) popisal geološko zgradbo ožje okolice rudnika in orudenenje zgornjega dela rudnega telesa Čoka Dulkan. Ta monografija je bila dolgo vrsto let edino znanstveno delo o rudišču, v katerem so odkrivali leto za letom nova rudna telesa in odpirali nova obzorja. Kljub številnim raziskovalnim delom v Boru in njegovi okolici je bilo do druge svetovne vojne zelo malo podatkov o orudenenju, petrologiji in tektoniki.

Po drugi svetovni vojni je podal svoje mišljenje o geoloških problemih rudišča Bor najprej C l a r (1946), ki je skušal določiti tudi njegovo starost. Leta 1948 je petrografsko kartiral ožjo okolico rudnika M a r i ć. Rezultate



Sl 1. Situacija raziskanega dela timoškega magmatskega območja

Fig. 1. Situation of the investigated portion of the Timok magmatic region

svojih raziskav je zbral v delu (1957), ki obsega mimo popisa magmatskih kamenin tudi evolucijo magmatizma. Nekoliko poprej sva s F. Drovenikom (1956) na kratko opisala orudenenje timoškega magmatskega območja in geološko zgradbo rudišča Bor. Najini pogledi se takrat niso bistveno razlikovali od Clarovih. Šele v letih 1956/57, ko sem kartiral površinski kop Čoka Dulkan in bližnjo okolico rudnika, sem prišel do novih podatkov o kameninah, njihovi starosti in tektoniki. Te podatke so podkrepile nadaljnje raziskave, ki sem jih razširil do vzhodne meje magmatskega območja.

Širša okolica Bora, ki sem jo raziskal v letih 1956/59, obsega nekaj več kakor 150 km². Predstavlja približno 1/9 vsega magmatskega območja in leži ob njegovi vzhodni meji, ki je tektonsko močno razgibana (sl. 1).

Od vsega območja je tod največ sledilnih del. Mimo Bora smo raziskovali v povojnih letih tudi hidrotermalno spremenjeno cono Malega Krivelja, sedaj pa raziskuje geološka služba Bora hidrotermalno spremenjeno cono Velikega Krivelja.

Kemično je vzorce analiziral S. Kandare, dipl. inž. kem. na Geološkem zavodu v Ljubljani, mikroskopske slike pa je izdelal Dj. Cekić, z Zavoda za geološka in geofizikalna raziskovanja v Beogradu.

V prijetno dolžnost si štejem, da se zahvalim takratnemu generalnemu direktorju borskega bazena D. Čehu, dipl. inž. rud. in drugim organom delavskega samoupravljanja za veliko razumevanje za moje delo. Prav tako se zahvaljujem prof dr. J. Duhovniku, dipl. inž. rud. za zanimanje in nasvete med delom. Nadalje se zahvaljujem geologom borskega rudnika, predvsem M. Terziću, dipl. inž. geol., ki so mi nekajkrat pomagali pri kartiranju.

ZAPOREDJE PLASTI OD PALEOZOIKA DO SPODNJE KREDE

Mlajši paleozojski skrilavci

Paleozojski skrilavci, tako starejši (prve skupine), ki prevladujejo, kakor tudi mlajši (druge skupine), so za paleozoik Vzhodne Srbije značilne kamenine. Starejše skrilavce predstavljajo razni gnajsi, amfiboliti in sljudni skrilavci, mlajše pa filiti ter kloritni, amfibolitni in lojevčev skrilavec. Ker obsegajo mlajši skrilavci tudi diabazov tuf in diabaz, sodimo, da gre za metamorfozirano sedimentno-vulkanogeno formacijo.

V širši okolici Bora smo našli le mlajše skrilavce, in sicer v vzhodnem vznožju Velikega krša, v vzhodnem vznožju Golega krša, v spodnjem delu apnenčeve luske nad Velikim Kriveljem, prav majhen izdanek pa tudi ob poti Bučje—Bele vode. Skrilavci imajo navadno svilen sijaj, so sivi, sivo zeleni in sivo rjavi ter pogosto vsebujejo kremenove leče. Pod mikroskopom vidimo, da jih sestavljajo v glavnem zrnca kremena, sericit in klorit; zato prištevamo nekatere k filitom, druge h kloritnemu skrilavcu. Navadno imajo jasno skrilavost, le na vzhodnem pobočju Velikega krša so dokaj masivni in jedri.

Na vseh izdankih, ki smo jih našli, so skrilavci močno nagubani in ponekod tudi zdrobljeni.

Liadni konglomerat in peščenjak

Liadni konglomerat in peščenjak najdemo predvsem ob vzhodni meji timoškega magmatskega območja. Nastala sta v času velike liadne transgresije, torej predstavljata prve produkte mezozojske epirogeneze. Najprej ju je popisal in paleontološko dokazal njuno starost Radovanović (1888) v okolici Rgotine, kjer sta s fosili posebno bogata. V okolici Majdanpeka so našli liadne usedline Hoffman (1892), Urošević (1908) in K. V. Petković (1933).

V širši okolici Bora je prikazal liadne klastične usedline na geološki karti že V. K. Petković, (list D. Milanovac, 1933) nadrobno pa jih je popisal Antonijević (1964). Tovrstne usedline leže v spodnjem delu jurskih in krednih plasti, ki grade grebene ob vzhodni meji magmatskega območja. Na priloženi geološki karti jih v talnini apnenčevih skladov Velikega krša nismo vrisali; tamkaj jih namreč tudi nismo našli, kajti vzhodno pobočje Velikega krša je prekrito do izohipse 900 m z meliščem. Pač pa moremo opazovati liadni konglomerat in peščenjak v talnini luske jurskih in krednih apnencev severovzhodno od Velikega Krivelja, kakor tudi N in NW od Bučja, kjer so prav tako v talnini apnenčevih skladov.

Med liadnimi usedlinami v okolici Velikega Krivelja in Bučja prevladuje konglomerat, ki ima navadno karbonatno vezivo ter je ponekod svetlo rumenkasto rjav, drugod svetlo rdečkasto rjav. Najbolj pogostne so oblice kremena s premeri do 5 cm, zasledimo pa tudi oblice granita in gnajsa. Masivni konglomerat prehaja ponekod v plastoviti drobnozrnati peščenjak. V talnini apnenčeve luske na vzhodnem pobočju Kornjetu Mare ima peščenjak povprečno smer N 325° W in vpada pod kotom 82° proti SW.

V krovnini liadnega konglomerata in peščenjaka Golega krša je našel Antonijević (1964) tu in tam tudi doggerski peščenjak, ki vsebuje ponekod bogato cefalopodno favno.

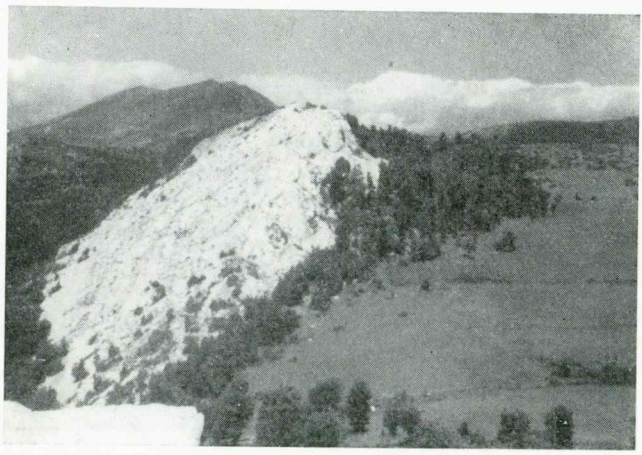
Zgornjejurski apnenec

Mezozojski apnenci se raztezajo od Majdanpeka, kjer jih je zelo nadrobno popisal K. V. Petković (1933), proti SE do Rgotine. Na dolžini skoraj 30 km grade grebene Starice, Garvana, Malega krša, Velikega krša, Stola, Golega krša in Rgotskega kamna ter predstavljajo morfološko jasno izraženo mejo med zgornjekrednimi vulkanogeno-sedimentnimi kameninami timoškega magmatskega območja in paleozojskimi graniti in skrilavci gornjansko-beloreškega kristalinika.

K. V. Petković je določil (1933) v okolici Majdanpeka titonvalanginijski grebenski apnenec, nastal v drugi polovici transgresijske faze titonskega morja, ki se je zavlekla tudi v spodnjo kredo. Po geološki karti V. K. Petkovića (list D. Milanovac, 1933) naj bi tudi v širši okolici Bora prevladoval titonvalanginijski apnenec, le apnenčeve krpe med Velikim Kriveljem in Bučjem naj bi pripadale barremijski stopnji. Raziskave Antonijevića (1961, 1964) pa so pokazale, da pripadajo jurski apnenci Velikega in Golega krša oxfordski, kimmerijski in titonski stopnji zgornje jure.

Zgornjejurski apnenec, ki gradi greben Velikega krša, lusko nad Todorovim potokom (sl. 2) in Goli krš, leži na liadnem konglomeratu in peščenjaku.

Stratigrafska lestvica zgornjejurskih usedlin se začne s peščenim apnencem, ki prehaja v ploščasti apnenec z gomolji in polami roženca. Makrofosilov v teh skladih nismo našli, mikropaleontološka analiza (Antonijević, 1964) pa dokazuje njihovo oxfordsko in kimmerijsko starost. Prekriva jih debelo-



Sl. 2. Zgornjejurski apnenec v luskasti zgradbi nad Todorovim potokom
Fig. 2. Upper Jurassic limestone in the imbricated structure along the Todorov Potok

ploščasti in masivni apnenec, ki vsebuje številne fosilne ostanke koral, nerinej in brahiopodov. Ponekod so ti skladi beli, drugod svetlo rumeni, povsod pa močno marmorizirani; Antonijević (1964) jih je uvrstil v titon.

Zgornjejurski apnenec Velikega in Golega krša ima smer povprečno N 325° do 330° W in vpada pod kotom 30° do 50° proti SW; skladi, ki grade lusko nad Todorevim potokom, imajo sicer enako smer, vendar vpadajo skoraj pod kotom 70° proti SW.

Spodnjekredni apnenec

Na jugozahodnem pobočju Velikega krša prehajajo zgornjejurski skladi postopoma v spodnjekredne. Najprej najdemo tanko in debelo ploščasti apnenec, ki je ponekod siv, drugod nekoliko rumenkast; za razliko od zgornjejurskega apnenca tudi ni marmoriziran. Na podlagi mikrofavne ga je Antonijević (1964) uvrstil v hauterivijsko-valanginijsko stopnjo. Zaporedje plasti se nadaljuje s konkordantno ležečim, povečini masivnim barremijskim apnencem, ki vsebuje številne orbitoline in rekvienije. V litološkem pogledu predstavlja barremijski apnenec grebenski sediment.

Spodnjekredni, v glavnem barremijski apnenec, gradi nadalje Kornjetu Mare, Kornjet al Mare in Kornjet Petko; tudi na teh krajih je v glavnem masiven. Končno pripada barremijskim usedlinam tudi apnenčeva luska

Kriveljskega kamna. V opuščenem kamnolomu, kjer so pred leti kopali apnenec za potrebe rudnika, smo našli nekaj prebojev temno sivo zelenega kremenovega dioritnega porfirja. Apnenec je neposredno ob kontaktu spremenjen v skarn, sicer pa na večjih površinah marmoriziran; zaradi marmorizacije je postal bel, tako da ga že od daleč ločimo od nespremenjenega. Kose marmoriziranega apnenca najdemo tudi kot vključke v dioritnem porfirju.

Na Kornjet al Mare in na Kornjet Petku imajo spodnjekredni skladi povprečno smer N 310° do 330° W ter vpadajo pod kotom 20° do 40° proti SW. Enako smer in vpad imajo tudi skladi na Kornjetu Mare, medtem ko se na pobočju Velikega krša vpad nekoliko spremeni in niha od 30° do 41°.

Transgresivni položaj jurskih plasti na gornjansko beloreškem kristaliniku in postopen prehod zgornjejurskih skladov v spodnjekredne dokazuje, da gre za avtohtone mezozojske kamenine in ne za dele poreškega in tupižniškega nariva, kakor je tolmačil V. K. Petrović (1930).

Albijski peščenjak in konglomerat

V širši okolici Bora smo v krovnini spodnjekrednega apnenca našli na več krajih sivi, rjavi in rjavkasto zeleni peščenjak, ki vsebuje povečini precej glavkonita, tu in tam pa tudi limonitne konkrecije. V njem je našel Antonijević (1958) fosile *Puzosia mayoriana* d'Orb., *Neohibolites minimus* List, *Mariella (Turrilites) bergeri* Brong. in predvsem številne ostanke belemnitov. Po favni sklepamo na albijsko starost peščenjaka. V njegovi bazi leži ponekod konglomerat.

Albijske usedline v Vzhodni Srbiji sta omenila že Živković (1891) in Žujović (1892). Podrobneje jih je popisal V. K. Petković (1913), ki jih je našel le v južnem delu timoškega magmatskega območja v okolici Gamzigrada, Lenova in Gornje Bele reke. Geologi srbskega geološkega zavoda so jih pozneje našli tudi v severnem delu (Antonijević, 1957, 1958).

Nadaljnje raziskave v vznožju Velikega krša so pokazale, da so albijske usedline veliko bolj razširjene, kakor smo prvotno domnevali. Našli smo jih na vznožju Velikega krša od Tilva Pasku do Velikega Krivelja, vzhodno od Velikega Krivelja v krovnini barremijskega apnenca, na Kornjetu Mare in Kornjetu Petko ter v krovnini barremijskega apnenca Kriveljskega kamna. Albijski konglomerat z oblicami spodnjekrednega apnenca, redkeje granita in grobozrnati peščenjak s podobno sestavo ležita torej neposredno na barremijskem apnencu in tako dokazujeta albijsko transgresijo. Albijske usedline imajo na vznožju Velikega krša povprečno smer N 315° do 345° W in vpadajo povsod proti SW razen v krovnini barremijskega apnenca vzhodno od Kornjetu Mare, kjer imajo prečno smer E—W in vpadajo proti jugu.

Posebej nas je zanimala njihova sestava; v primeru andezitskih erupcij v tem delu Vzhodne Srbije, starejših od gornje krede (ekvivaletne naj bi bile triadnim erupcijam v Dinaridih, Marić, 1957), bi namreč albijske usedline zelo verjetno vsebovale tudi klastični predorninski material. Vendar v njih nismo našli andezitskih niti dacitskih zrn ali conarnih plagioklazovih zrn srednje sestave, ki so tako značilni za predornine timoškega magmatskega

območja. Predkredne andezitske in dacitske erupcije so torej na tem območju malo verjetne.

Ob Banjici vzhodno od Velikega Krivelja sta albijske usedline prebila rogovačni in piroksenov andezit. Usedline ob kontaktu niso spremenjene.

ZAPOREDJE ZGORNJEKREDNIH PLASTI

Senonski peščenjak in apneni pelit

Debele sklade zgornjekrednega peščenjaka in apnenega pelita smo našli med Kriveljsko reko in grebenoma Velikega ter Golega krša. Zgornjekredne usedline nastopajo v treh pasovih s smerjo povprečno NW—SE in z vpadom proti SW. Mimo tega smo jih našli tudi kot vložke in pole v raznih piroklastitih.

Tovrstne usedline so označene na Petkovićevi geološki karti (list Donji Milanovac, 1933) le v okolici Oštrelja in SE od Bora. Petković jim je pripisal senonsko starost. Senonsko starost apnenega pelita v ožji okolici Bora je potrdila Kochansky-Devidé (1951), in sicer na podlagi materiala, ki ga je bil zbral Marić. Kochansky-Devidé (1958) je mikropaleontološko raziskala tudi nekaj vzorcev peščenjaka in pelita, ki smo jih našli pri kartiranju širše okolice Bora. V apnenem pelitu Tilva Cerove je določila številne fosilne ostanke rdečih apnenih alg iz družine Melobesiae (*Lithophyllum, Lithothamnium, Archeolithothamnium gosaviense* (Rothpletz), poleg tega pa številne foraminifere: *Orbitoides, Textularia, Cuneolina, Frondicularia, Rotalia* in druge. V peščenjaku, ki smo ga našli SE od Velikega krša, pa je določila še rodove *Globigerina, Globotruncana* in *Bolivina*. Prisotnost foraminifere *Orbitoides* dokazuje zgornjekredno starost peščenjaka in pelita; verjetno gre za senonske sklade. Takšno starost je pripisal tem usedlinam tudi Antonijević (1964), ki je nadrobno raziskal stratigrafske prilike Velikega krša. P. Nikolić in M. Andjelković (1967), ki sta našla cenomanske in turonske usedline na Stari planini in ob Grliški reki na severnem vznožju Tupižnice, sicer menita, da sta tudi peščenjak in apneni pelit z vzhodnega roba tega dela magmatskega območja turonske ali celo cenomanske starosti. Vendar za takšno razlago ne navajata dokazov. Zato se nam zdi najbolj primerno, da prištevamo peščenjak in apneni pelit, s katerima se začenja zgornja kreda, še nadalje k senonu. Razvoj plasti je torej podoben kakor v Rtnju, kjer leži podoben senonski peščenjak transgresivno na spodnjekrednem apnencu (Petković, 1959).

Senonski skladi imajo povečini tektonske meje tako v talnini kakor tudi v krovnini. Peščenjak in apneni pelit sta ob teh mejah močno zdrobljena in ponekod drobno nagubana; zdrobljene cone pa zasledimo tudi v sredini skladov. Značilno je, da ni nikjer bazalnega konglomerata; vzrok temu je najbrž mlajša tektonika.

V zbruskih peščenjaka močno prevladujejo kremenova zrnca, manj je sericita, magnetita, plagioklazov in mikroklina, kaoliniziranega ortoklaza, kloritizirane rogovače in biotita, prav malo pa apatita, sfena in epidota. V

nekaterih vzorcih smo našli zrnca paleozojskega skrilavca. Vezivo je karbonatno.

Podrobno smo raziskali plagioklazova zrnca, da bi po njihovi sestavi mogli sklepati na izvor. V spodnjem delu peščenjaka območja Tilva Pasku-Gurgula smo našli le zrnca dokaj kaoliniziranih plagioklazov z ozkimi dvojčičnimi lamelami. Zrnca niso conarno zgrajena in vsebujejo povprečno 10% do 35% an, kar dokazuje, da izvirajo z območja severno in severozahodno od Bora, kjer nastopajo graniti in metamorfne kamenine. V zgornjem delu peščenjaka in v apnenem pelitu pa smo že našli tanke in debele plasti tufita in tufa. Tufit sestoji iz zrnc plagioklazov, rogovače in magnetita (tabla I, sl. 1), mimo tega vsebuje še zrnca biotita, sericita, kremena in drobce andezitov. Vezivo je karbonatno. Tuf, ki je enako kakor tufit ponekod tanko drugod debelo plastovit, sestoji iz zrn plagioklazov, rogovače, biotita, magnetita, piroksena in drobcev andezitov.

Plagioklazova zrna so povsem sveža, dvojčična in conarna, le tu in tam jih je delno nadomestil kalcit. Vsebujejo 43% do 58% an, povprečno 50% an; pripadajo torej bazičnemu andezinu in kislemu labradoritu. Prav ti plagioklazi pa so značilni za vulkanite timoškega magmatskega območja. Malo je torej verjetno, da bi bile prve erupcije na tem območju predsenonske. Vulkanizem se je začel šele potem, ko so se nekaj časa že usedale senonske usedline.

Apneni pelit je v hidrotermalno spremenjenih conah in ob njihovih mejah pogosto spremenjen v skarn. Metamorfoziran pelit smo našli predvsem v spremenjeni coni Malega Krivelja, pa tudi v spremenjeni coni, ki se razteza od Velikega Krivelja proti SE. Skarn je ohranil pelitsko teksturo, sestoji pa v glavnem iz kalcita ter drobnih granatovih in epidotovih zrn. Tu in tam zasledimo nadalje pahljačaste agregate klorita ter zrna kremena in pistacita. Rudni minerali nastopajo v majhnih količinah, med njimi je še najbolj pogosten pirit. Kakor sva že omenila s F. Drovenikom (1956), vsebuje skarn, ki ga seče potok Jorgovan, posamezna zrna visokotemperaturnega sfalerita, skarn Čoka Curuli pa tudi halkopirit in galenit.

Prvotno smo domnevali, da so povzročili metamorfozo v nekaterih primerih andeziti, v drugih pa mlajše, bolj kisle globočnine in raztopine, ki so izvirale iz istih magmatskih ognjišč. Toda tam, kjer smo mogli opazovati kontakt predornine z usedlinami, smo le na južnem pobočju Kosta Ilije našli kontaktne minerale. Tako obsežnih sprememb torej ne moremo pripisati vulkanitom. Najbolj verjetno je, da so bile predornine, piroklastične kamenine in usedline istočasno spremenjene. Za to govore predvsem pojavi na zahodnem pobočju Kriveljskega kamna. Tamkaj vsebuje vulkanska breča rogovačnega andezita nekaj plasti apnenega pelita. Če sledimo tem plastem v dolino Ujove reke, nas kmalu privedejo v cono, kjer so piroklastiti hidrotermalno spremenjeni, predvsem silificirani in sericitizirani, peliti pa spremenjeni v granatov skarn. Upravičeno domnevamo, da so spremembe piroklastitov in pelitov nastale pod vplivom visokotemperaturnih raztopin, ki so sledile intruziji kremenovega diorita Čoka Curuli. V istem času je nastal tudi skarn SE od Velikega Krivelja, kjer prav tako najdemo diorit. Geneza skarna v širši okolici Bora, Potoj Čuke in Valja Sake je torej enaka (M. Drovenik, 1955).

Piroklastične kamenine

V timoškem magmatskem območju, posebej še v širši okolici Bora, so piroklastične kamenine mnogo bolj razširjene kot predornine. Značilno je, da tudi v bolgarskem Srednegorju piroklastiti močno prevladujejo nad vulkaniti (Dimitrov, 1946).

Piroklastične kamenine v širši okolici Bora bomo nekoliko podrobneje popisali, ker nam kažejo na evolucijo in starost vulkanizma.

Za piroklastične kamenine še nimamo enotne klasifikacije. Zato tudi njihova imena niso enotna. Po andezitskih in dacitskih odlomkih ločimo v širši okolici Bora naslednje piroklastične kamenine:

1. Piroklastične kamenine rogovačno biotitnega andezita;
2. Piroklastične kamenine rogovačnega andezita;
3. Piroklastične kamenine mandeljnastega piroksenovega andezita;
4. Piroklastične kamenine piroksenovega, mandeljnasto piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega in rogovačnega andezita;
5. Piroklastične kamenine rogovačno biotitovega dacita;
6. Piroklastične kamenine rogovačnega dacita.

Pri nadaljnji delitvi posameznih skupin bomo sledili Wentworthu in Williamsu (Billings, 1950).

Piroklastičnim kameninam, ki so produkti podmorskih erupcij, se v njihovi sestavi često pridružujejo druge klastične komponente. Takšne kamenine je Mügge (Rosenbusch, 1909) imenoval tufite. Izraz se je obdržal in z njim bomo tudi mi označevali kamenine, ki jih sestavljajo delno piroklastične, delno druge klastične sestavine.

Piroklastične kamenine rogovačno biotitnega andezita

Te kamenine se razprostirajo ob vzhodni meji območja od Zvezdana do Vlaol, tj. na dolžini 50 km. Njihov sedanji položaj v geološki zgradbi ožje in širše okolice Bora je pomemben za študij tektonike. Njihov nastanek pa je bistvene važnosti za poznavanje razvoja vulkanizma v okolici Bora in na celotnem magmatskem območju.

Piroklastične kamenine rogovačno biotitnega andezita širše okolice Bora se razprostirajo v dveh vzporednih pasovih s povprečno smerjo N 330° W. Prvega imenujemo borski, drugega pa kriveljski pas.

Borski pas je širok povprečno 600 m. Proti vzhodu je omejen s sistemom prelomov med železniškim postajališčem Brestovac in Borsko reko. Dalje poteka njegova vzhodna meja ob hidrotermalno spremenjeni coni do Bor—Sela. Od tod do Tilva Njalt meji na preboj timocita, nato do Ugašu Tomi na vulkansko brečo rogovačnega andezita in pri Malem Krivelju postopno prehaja v hidrotermalno spremenjeno cono.

Dokaj laže sledimo njegovi zahodni meji. Ob njej nahajamo od jugovzhoda proti severozahodu najprej borski pelit s tufom in tufitom in nato ob prelomu do Kriveljske reke piroklastične kamenine različnih andezitov. Prav v dolini Kriveljske reke smo našli v krovnini vulkanske breče zopet pelitske usedline.

Kriveljski pas se razteza med Lozinim poljem in zahodnimi pobočji Gurgule. Od Lozinega polja se vije po vzhodnem pobočju grebena Kulmea—

Kalafir—Kriveljski kamen, v soteski prehaja na levo stran Kriveljske reke, se vzpne na Čoka Ubrjaz in se izklini pod Gurgulo.

Kriveljski pas je nekoliko ožji od borskega. Če upoštevamo, da vpadajo piroklastiti 50° do 60° proti SW, potem je njihova debelina komaj 230 m do 350 m.

Piroklastične kamenine kriveljskega pasu so na mnogih krajih ob mlajših prelomih premaknjene. Največji premik zasledimo na južnem pobočju Lozinega polja, kjer so bili piroklastiti premaknjeni proti zahodu, tako da smo našli njihov podaljšek šele jugovzhodno od železniškega postajališča Brestovac, ob progi Bor—Metovnica.

Poleg breče, ki močno prevladuje, smo našli v obeh pasovih tudi aglomerat ter tuf, tufit in apneni pelit. Ker breča in aglomerat nista plastovita, nam njuno smer in vpad kažejo prav plasti in vložki tufa, tufita in pelita.

Vulkanska breča in aglomerat

V jugovzhodnem delu borskega pasu se zaporedje piroklastičnih kamenin prične z vulkansko brečo. V njej prevladujejo kosi rogovačno biotitnega andezita, zlepljeni z tufskim materialom.

Za odlomke je značilna precej stalna količina plagioklazovih in rogovačinih vtrošnikov, medtem ko se število biotitovih vtrošnikov močno spreminja. Modalno sestavo kaže tabela 1.

Plagioklazi nastopajo v idiomorfnih pa tudi v hipidiomorfnih, okrušenih in zdrobljenih kristalih. Vselej so dvojčično zgrajeni in conarni. Največ je enostavnih albitskih, karlovarskih in manebaških dvojčkov. Izmerili smo številna zrnca in našli, da pripadajo labradoritu. Plagioklazi vsebujejo povprečno 53,5 % an.

Nekatera plagioklazova zrna so delno ali povsem kaolinizirana, karbonatizirana in zeolitizirana.

Za rogovačo so značilni idiomorfni vtrošniki z lepo razvitimi prizmami in pinakoidi. Zrna so sveža in imajo izrazit pleohroizem; Ng = temno zelena, Nm = zelena, Np = svetlo rumeno zelena barva. Dvojčki po (100) so pogostni. Kot Ng [001] meri povprečno 15,5°, medtem ko niha kot optičnih osi: 2 V = —75,5° do —84°. Kot starejši vključki nastopajo le zrnca magnetita.

Tudi biotitova zrna so navadno sveža, z jasnim pleohroizmom. V konvergentni svetlobi vidimo, da so enoosna. Nekateri vtrošniki so nekoliko deformirani in valovito potemnijo.

Akcesorni komponentni sta magnetit in apatit.

V jugovzhodnem delu borskega pasu slede na vulkanski breči rogovačno biotitnega andezita piroklastične kamenine timocita, ki predstavlja le različek rogovačno biotitnega andezita.

Timocitovo vulkansko brečo je opazoval ob Borski reki že A n t u l a (1909). Pozneje sta jo L a z a r e v i ć (1912) in H e i s e (1933) prištevala k timocitovi »intruziji«. C l a r (1946) je s površinskega kopa Čoka Dulkan popisal »grudaste andezite« tipa Bor (tj. našega timocita), vendar pa ni dovolj pojasnil, kako so ti »grudasti andeziti« nastali. Migmatizacija in kontaktni pojavi ob meji »grudastih andezitov« in rdečih senonskih pelitov, naj bi po C l a r u dokazovali intruzivni značaj tega andezitnega različka. C l a r je torej pripisal

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV ROGOVAČNO BIOTITNEGA ANDEZITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE-BIOTITE ANDESITE FRAGMENTS FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 1 Table 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Osnova	54,9 %	50,4 %	45,8 %	54,4 %	52,5 %	46,9 %	53,9 %	49,2 %	51,0 %	48,9 %	47,6 %
plagioklazi	30,8	31,0	32,2	20,6	31,4	29,6	29,3	27,3	29,4	28,0	29,3
rogovača	10,1	14,1	16,2	18,2	11,7	18,3	6,2	16,2	15,0	17,2	18,9
biotit	1,5	2,8	2,2	1,7	1,2	1,9	1,1	1,7	1,6	2,3	0,9
avgit	—	—	—	sl.	—	—	—	—	—	—	—
magnetit	1,5	1,7	3,4	3,0	2,9	2,8	2,8	1,7	1,9	2,8	2,5
apatit	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	0,1
zeoliti		sl.	0,2	2,1	0,3	0,5			—	—	—
klorit	1,2	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	6,7	3,9	1,1	0,8	0,7
minerali glin		—	—	sl.	sl.	sl.			—	—	—
kalcit		—	—	sl.	sl.	sl.			—	—	—
kalcedon	—	—	—	—	sl.	—	—	sl.	sl.	sl.	sl.
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

1. Odlomek rogovačno biotitnega andezita Rudjevica
2. Temno sivo zeleni timocitov odlomek (Bor, jama, 5. obzorje)
3. Svetlo sivo zeleni odlomek (Bor, jama, 5. obzorje)
4. Timocitov odlomek iz breče ob poti postajališče Brestovac—vas Brestovac
5. Odlomek rogovačno biotitnega andezita z majhnimi vtrošniki (K. soteska)
6. Odlomek rogovačno biotitnega andezita z velikimi vtrošniki (K. soteska)
7. Odlomek leukokratnega rogovačno biotitnega andezita, potok Buzej
8. Odlomek rogovačno biotitnega andezita (prehod v timocit) (K. soteska)
9. Timocitov odlomek, potok Buzej pri Velikem Krivelju
10. Timocitov odlomek, vzhodno pobočje Kraku Kalafir
11. Timocitov odlomek, srednji del potoka Kalafir

»grudastim andezitom« vlogo obodne intruzivne breče. Timocitovo brečo s površinskega kopa Čoka Dulkan je popisal tudi Marić (1957). Nastala naj bi bila v tektonski fazi, ki je zdrobila tudi borska rudna telesa, npr. Čoka Dulkan. Timocitovo brečo ob potoku Kalafir pa je označil kot hipoabisalno obodno brečo.

Najlepše je vulkanska breča odkrita na površinskem kopu Čoka Dulkan (sl. 3). V njej so vsekane strme južne in jugozahodne etaže. Kosi v breči dosežejo premer 80 cm, vendar merijo povprečno le 15 cm do 35 cm; tu in tam so zaobljeni, tako da ima kamenina videz aglomerata. Severozahodno in jugovzhodno od Bora se velikost odlomkov poveča; na vzhodnih pobočjih Čoka Bare, ob potoku Krutome, pa tudi ob potoku Fontin smo našli bloke s premeri do 1,5 m, povprečno pa so veliki 20 cm do 50 cm.

Razmerje med odlomki in osnovo se od kraja do kraja nekoliko spreminja. Navadno prevladujejo odlomki, le ponekod je več osnove in v tem

Sl. 3. Timocitova vulkanska breča. Površinski kop Čoka Dulkan, južni del, etaža 325 m
Fig. 3. Timocite volcanic breccia. The southern part of Čoka Dulkan open pit, bench of 325 m

primeru govorimo o tufski breči. Na spodnjih etažah površinskega kopa Čoka Dulkan niha razmerje med odlomki in osnovo od 3:1 do 6:1, na zgornjih etažah pa je veziva nekoliko več, tako da se spreminja razmerje od 2:1 do 4:1. Timocitova breča severozahodno in jugovzhodno od Bora vsebuje povečini manj veziva kakor breče na površinskem kopu Čoka Dulkan.

Timocitova vulkanska in tufska breča, ki ju najdemo ponekod v jami (npr. v začetku hodnika št. 80 na 5. obzorju), pa tudi na površinskem kopu Coka Dulkan, sta zelo čvrsti in se lomita pod udarcem kladiva kakor homogena kamenina. Marsikje po je osnova že močno preperela in odlomki izpadajo kar sami. Posebno slaba je vez med odlomki in osnovo v zdrobljenih conah na površinskem kopu, pa tudi ob Borski reki in ob Borskem potoku. V teh conah so bili zdrobljeni tako odlomki kakor tudi osnova, zdrobljene dele pa so povezale kalcitne in zeolitne žilice. Iz prvotne vulkanske in tufske breče je na ta način nastala tektonska breča, kakršno zasledimo tudi ob močnem prelomu na južnem robu rudnega telesa Čoka Dulkan. Na površinskem kopu Coka Dulkan in sploh v celem borskem pasu pripadajo tej tektonski breči zelo majhne površine.

Vsaj 90 % vseh odlomkov, ki sestavljajo te piroklastične kamenine, pripada timocitu. Njegovi kosi imajo slično barvo, mineralno sestavo in strukturo kakor timocit v jugovzhodnem delu površinskega kopa Tilva Mika in v borski jami. Mimo timocitovih odlomkov najdemo v breči tudi kose svetlo sive predornine, na oko intersertalne strukture, ki jo sestavljajo igličaste rogovače, plagioklazi ter tu in tam večje rogovačino ali biotitovo zrno. To predornino ima Marić (1957) za bolj bazičen različek, soroden diabazu. Značilno je, da nastopajo zaobljeni in oglati vključki te kamenine tudi v timocitovih odlomkih. Meja med svetlo sivimi vključki in timocitom je ostra.

Da bo popis popolen, moramo dodati še dacitne in rudne odlomke, ki dopolnjujejo sestavo timocitovih piroklastičnih kamenin. Prve najdemo tu in tam v breči površinskega kopa Čoka Dulkan, druge pa v breči vzhodnega in severovzhodnega pobočja Čoka Bare.

Timocitovi odlomki so navadno sivi, zeleni ali sivo zeleni in imajo porfirsko strukturo. Kamenina vsebuje do 3 cm velike vtrošnike rogovače in biotita, ki so v nekaterih odlomkih tudi fluidalno razporejeni, ter sorazmerno majhne vtrošnike plagioklazov. Akcesorni komponenti sta magnetit in apatit. Količinsko razmerje med vtrošniki in osnovo, med femičnimi in saličnimi vtrošniki ter med rogovačo in biotitom je dokaj nestalno.

Med vtrošniki prevladujejo plagioklazova zrna, ki dosežejo premer 4,5 mm in so zaradi preperevanja pogosto kaolinizirana, karbonatizirana pa tudi zeolitizirana. Rogovača in biotit sta manj preperela. V vzorcih s površinskega kopa Coka Dulkan se spreminja razmerje med rogovačo in biotitom od 5:1 do 15:1, povprečno pa je rogovače 7-krat več kakor biotita. Sveže odlomke smo našli le ob bližnjici, ki vodi od postajališča Brestovac v vas, in v borski jami. Na 5. obzorju je presekal namreč hodnik št. 80 večji blok timocitove vulkanske breče, ki je po vsej priliki padel v timocit, preden je ta skrepenel. Timocitovi kosi dosežejo v tem bloku premer 40 cm. Nekateri vsebujejo večje, drugi pa manjše vtrošnike; večji so svetlo sivo, manjši pa temno sivo zeleni. Zato je kazalo, da imamo opraviti z dvema timocitovima različkoma.

Temno sivo zeleni vzorec se razlikuje od timocita, ki obdaja blok vulkanske breče, po barvi, pa tudi po tem, da vsebuje manjše vtrošnike rogovače in

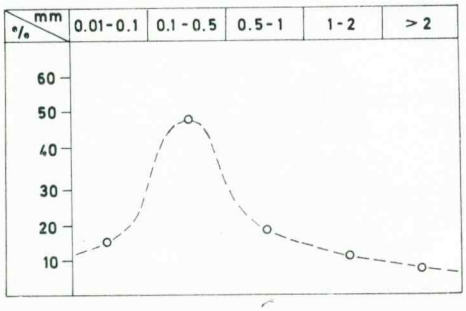
biotita. Pod mikroskopom vidimo, da imajo vtrošniki le poredkoma pravilne preseke; navadno so okrušeni ali zdrobljeni (tabla I, sl. 2).

Osnova tega vzorca je kriptokristalna, osnova obdajajočega timocita pa holomikrokristalna. Razliko v strukturi opazimo takoj, če primerjamo sliko 2 na tabli I in sl. 1 na tabli III.

Plagioklazova zrna so dvojčična, conarno zgrajena in skoraj povsem sveža. Količina an se spreminja od 58 % do 67 %, povprečno pa znaša 62 % an.

Povprečna sestava zrn niha v sorazmerno majhnih mejah, medtem ko se sestava posameznih con v istem vtrošniku močno spreminja. Bazične cone imajo nepravilne, zaradi korozije nazobčane meje; pogostne so reverzne cone. V enem izmed merjenih conarnih zrn se spreminja količina an od 87 % v jedru do 53 % v zunanjih conah.

S pomočjo integracijske mizice smo določili količine plagioklazov, ki pripadajo zrnom različnih velikosti ter dobljene podatke ponazorili z diagramom (sl. 4).



Sl. 4. Količine plagioklazov po velikosti njihovih zrn. Vzorec timocitovega odlomka iz vulkanske breče
Fig. 4. Diagram showing the plagioclase quantities according to their grain seizes. The specimen of timocite fragment from volcanic breccia

Če primerjamo diagrama na sl. 4 in na sl. 17, vidimo, da v odlomkih breče prevladujejo zrna plagioklazov s premeri pod 0,5 mm. Ker sta oba vzorca v bistvu ista kamenina — timocit, se moramo vprašati, zakaj takšna razlika. Holokristalna osnova in idiomorfni plagioklazovi (kakor tudi rogovačini in biotitovi) vtrošniki dokazujejo, da je magma potem, ko se je prebila proti površju, kristalila nemoteno do kraja. Zato vtrošniki niso zdrobljeni, plagioklazova zrna pa merijo povečini 0,5 do 3 mm. V primeru timocitovega odlomka v breči pa številni plagioklazovi drobci (kakor tudi rogovačini in biotitovi), dokazujejo, da so bili vtrošniki med prodiranjem magme proti površju zdrobljeni. Zato med plagioklazi prevladujejo manjša zrna, ki merijo 0,01 do 0,5 mm. Do drobljenja fenokristalov je prišlo verjetno v samem kraterju, kajti kriptokristalna osnova kaže, da je magma takoj zatem skrepenela.

Rogovačini vtrošniki dosežejo velikost 1,5 cm. Zrna so povsem sveža in imajo jasen pleohroizem: Ng = rjavo zelena, Nm = zelena in Np = svetlo

rumeno zelena barva. Kot potemnitve se spreminja od 15,5° do 20,5°, povprečno meri kot 2 V = — 78°. Nekatera zrna so conarna; dvojčki po (100) so dokaj pogostni.

Biotitova zrna dosežejo enako velike premere kakor rogovačina, vendar jih je manj. Ker so bila tudi ta zrna zdrobljena, ne potemnijo enakomerno, temveč valovito. Nekajkrat zasledimo tudi upognjene in zvite biotitne lističe. Starejše vključke predstavljajo zrnca plagioklazov, magnetita in prav redko apatita.

Osnova je kriptokristalna. Poleg drobcev plagioklazov in rogovače zasledimo v njej tu in tam majhna kloritova in zeolitna polja, magnetit in apatit. Modalno sestavo temno sivo zelenega timocita kaže tabela 1, njegovo kemično analizo pa tabela 2. Ta analiza se nekoliko razlikuje od analize timocita z 11. obzorja (tabela 18), a se približuje analizi, ki jo podaja Marić (1957, str. 12) za timocit s severnega pobočja Čoka Dulkana.

TEMNO SIVO ZELENI TIMOCITOV ODLOMEK IZ VULKANSKE BREČE
DARK GRAYISH GREEN TIMOCITE FRAGMENT FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 2 — Table 2

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	55,50 %	Q	9,6	8,6	9,5	10,6	12,4
TiO_2	0,23	or, Or	5,0	5,0	3,2	3,2	2,0
Al_2O_3	19,56	ab, Ab	27,2	28,7	28,7	28,7	29,0
Fe_2O_3	3,38	an, An	37,4	37,0	37,0	30,7	25,0
FeO	2,75	Sp, C	—	—	—	1,4	1,3
MnO	0,074	di	1,5	—	—	—	—
MgO	4,94	hy, Hy	13,6	2,0	2,0	2,0	3,8
CaO	7,91	En	—	13,9	9,8	—	—
Na_2O	3,23	Wo	—	0,8	—	—	—
K_2O	0,78	Ho	—	—	3,0	12,5	15,0
P_2O_5	0,13	Bi	—	—	2,8	2,9	3,4
S	0,009	mt, Mt	4,9	3,5	3,5	3,5	3,6
H_2O+	1,57	ap, Ap	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
H_2O-	0,26	ti, Ru	0,5	0,2	0,2	0,2	—
CO_2	0,05	At, Chl (1)	—	—	—	4,0	4,3
	100,37 %		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Nigglijeve vrednosti so:

si	155	k	0,10
al	32,1	mg	0,65
fm	34,0	ti	0,5
c	23,8	p	0,16
alk	10,1	π	0,49
		γ	0,14
		qz	+14,6

Magma: Dioritna (dioritna)
CIPW II. 5. 4. 4.

Iz te analize (in iz drugih analiz, ki še slede) smo preračunali normativne in modalne sestave. Normativne sestave smo dobili tako po ustaljeni metodi CIPW kakor tudi po Niggliju (1936) iz osnovnih spojin (to sestavo smo označili z Niggli 1). Posebno zanimive so modalne sestave, ki smo jih izračunali po navodilih Nigglija (1936, 1945) in Barthа (1955).

Preračunavanje modalne sestave predornin (v našem primeru andezitov in dacitov) je dokaj težje kakor preračunavanje modalne sestave globočnin ali nasploh kamenin, katerih kvalitativno in kvantitativno mineralno sestavo moremo z mikroskopom dovolj zanesljivo določiti. V predorninah sestavljajo vtrošniki največ 50% kamenine. Ostalih 50% pripada osnovi, katere sestava nam ni dovolj znana. Med zrni prevladujejo najbolj verjetno plagioklazi; pridružujejo se jim sanidin?, ∓ kremen, magnetit, apatit in zrnca femičnih mineralov. Vprašanje je, kakšna je torej sestava osnove, sestava plagioklazovih zrn v osnovi, in še posebej, kakšno je razmerje med nastopajočimi minerali. Na ta vprašanja nismo mogli dovolj natančno odgovoriti.

Zaradi boljšega pregleda smo izračunali modalno sestavo kamenine najprej tako, kakor sta to storila Niggli za granodiorit iz Kalifornije (1945, str. 76 in 77) in Marić (1957) za del borskih magmatitov: Najprej smo določili osnovne spojine (*Cp, Ru, Kp, Ne,* itd.) in iz njih modalno sestavo. Tako dobljena modalna sestava (označili smo jo kot Niggli 2) pa more nihati v zelo širokih mejah. Vzemimo samo primer vrednosti *Bi,* ki je odvisna od spojine *Kp, Fo* in *Q*. Ta se lahko spreminja v rogovačno biotitnem andezitu in rogovačno biotitovem dacitu od 0% do 15% in več. Vendar dobimo na ta način premalo rogovače, ali pa je sploh ne dobimo, medtem ko so plagioklazi precej bazični. (Izračunani odstotek an se navadno močno približuje količini an, ki jo vsebujejo plagioklazovi vtrošniki. Po raziskavah Bowena pa vemo, da vsebujejo plagioklazi osnove precej manj an, torej bi moral biti izračunani plagioklaz znatno bolj kisel od tistega, ki smo ga določili z mikroskopom). Pri tem načinu računanja modalne sestave dodamo navadno del *CaO,* ki nastopa v resnici v rogovači, *Cal* (oziroma *An*). Če pa ugotovimo pod mikroskopom (v zbruskih sveže kamenine) poleg plagioklazovih le še rogovačine vtrošnike, v izračunani modalni sestavi pa dobimo neznatne količine rogovače (ali pa sploh ne), pojavijo pa se vrednosti *Di, Hy* in *En,* potem tako dobljena sestava ni odraz prave sestave, ki smo jo opazovali pod mikroskopom.

Da bi izračunano sestavo čimbolj približali opazovani, smo vzeli za osnovo modalno sestavo, dobljeno z integracijsko mizico, in privzeli, da nastopa večji del femičnih komponent v vtrošnikih.

Modalno sestavo smo ugotovili na naslednji način: Najprej smo določili s pomočjo prozornega merilca na gladkih površinah kamenine količine rogovačinih, biotitovih ter plagioklazovih vtrošnikov s premeri nad 1 mm in osnove, ki pa je še vsebovala drobne vtrošnike. Nato smo z integracijsko mizico določili količine drobnih plagioklazovih, rogovačinih in biotitovih vtrošnikov, seveda tudi osnove, posebej pa smo ločili magnetit, apatit in sekundarne minerale. Vedeti namreč moramo, da so v timocitu femični vtrošniki s premeri nad 1 cm precej številni, vendar (predvsem biotit) neenakomerno razporejeni, tako da bi samo z integracijsko analizo težko prišli do realnih podatkov. Na ta način smo določili tudi modalne sestave drugih predornin, ki vsebujejo velike vtrošnike rogovače, biotita ali plagioklazov.

S pomočjo dobljene modalne sestave smo lahko izračunali vrednosti *Bi* in *Ho* prej kot vrednosti glinencev. Izračunana modalna sestava (označili smo jo kot Niggli 3) se v večini primerov precej približuje opazovani. Omeniti pa moramo, da se v sestavi Niggli 3 navadno pojavi manjša količina *C*, oziroma *Sp*. Del Al_2O_3 nastopa namreč v rogovači in biotitu, ki po računu ne vsebujeta te komponente, del pa v mineralih glin, ki v manjši ali večji meri nadomeščajo plagioklaze.

Končno smo preračunali modalno sestavo tudi po metodi B a r t h a (1955), ki uvaja mesto Nigglijevih ekvivalentnih molekularnih vrednosti kationske odstotke. Tudi po tem načinu smo dobili nekajkrat manjše količine *C*, ki nastopajo po istem avtorju (1955) v femičnih komponentah, npr. v rogovači in biotitu. Tako dobljena modalna sestava, katere računanje je tudi baziralo na opazovani sestavi, se še najbolj približuje pravi vrednosti.

Zaradi lažje primerjave izračunanih vrednosti z dobljenimi z integracijsko analizo in detajlnimi optičnimi raziskavami podajamo izračunani odstotek anortita in barvni indeks.

Po dobljenih rezultatih vsebujejo plagioklazi 58 % an (CIPW), 56 % an (Niggli 1, 2), 52% an (Niggli 3) oziroma 46,5% an (Barth). Če računamo modalno sestavo po podatkih, dobljenih z integracijsko mizico, se vrednosti za *Ho* in *Bi* dokaj približujejo opazovanim. Barvni indeksi so: 20,8 (CIPW), 20,7 (Niggli 1), 21,6 (Niggli 2), 25,3 (Niggli 3), in 30,3 (Barth).

Razen po barvi se svetlo sivo zeleni odlomek razlikuje od temno sivo zelenega tudi po tem, da vsebuje nekoliko manjše vtrošnike. Toda že integracijska analiza kaže, da v sestavi obeh različkov ni bistvenih razlik.

Zbruski svetlo sivega različka nam nudijo pod mikroskopom podobne slike kakor zbruski temno sivo zelenega. Plagioklazove vtrošnike, ki so navadno okrušeni ali zdrobljeni, spremljajo številni manjši drobci. Količina anortita niha od 52,5 do 65,5%. Plagioklazi pripadajo srednjemu labradoritu in vsebujejo povprečno 60,5% an.

Rogovačini vtrošniki so sveži, nekateri so slabo conarni. Zrna imajo redkeje idiomorfne, večidel pa ksenomorfne preseke. Pogostne so rogovačine iveri. Pleohroizem se spreminja od rjavo zelene (Ng) in rumeno zelene (Nm) do svetlo rumeno zelene (Np) barve. Kot potemnitve meri povprečno 18,5°.

Biotitova zrna valovito potemne.

Magnetit in apatit nastopata v idiomorfnih zrnih, velikih do 0,25 × 0,25 mm.

Osnova je kriptokristalna. V njej najdemo majhna polja sekundarnih mineralov, nastalih verjetno v zvezi s hidrotermalnimi raztopinami. Modalno sestavo svetlo sivega različka timocita kaže tabela 1.

Izmed odlomkov, ki smo jih našli ob poti od železniškega postajališča Brestovac do vasi Brestovac, smo izbrali povprečni vzorec. Odlomek je sivo zelen, vsebuje številne, do 1,5 cm velike vtrošnike rogovače, enako velike, toda bolj redke vtrošnike biotita in do 4 mm velika zrna plagioklazov. Pod mikroskopom opazimo tudi majhna zrna avgita, magnetita ter tu in tam apatit.

Plagioklazova zrna nastopajo v manjši količini kakor v do sedaj popisanih odlomkih (tabela 1) in so tudi nekoliko manj zdrobljena. Povečini so dvojčična in conarna. Vsebujejo povprečno 53% do 59% an; v posameznih zrnih se vzpne količina an v jedrih na 72 % in pade v perifernih conah na 50 %.

Vzdolž con zasledimo v številnih plagioklazovih zrnih kalcit, kaolin in zeolite.

Rogovačini vtrošniki imajo skoraj vedno idiomorfne preseke. Le redka zrna so zdrobljena ali okrušena. Dvojčki po (100) so pogostni. Rogovače, ki so na splošno rahlo conarne, imajo značilen pleohroizem; Ng = rjavo olivno zelena, Nm = olivno zelena in Np = svetlo olivno zelena barva. Kot Ng [001] = 17,5°.

Vtrošniki biotita so sveži in imajo jasen pleohroizem. Nekatera zrna obdaja rob magnetita. Rogovači in biotitu se pridružijo skupki drobnozrnatega avgita. Določili smo le kot potemnitve, ki se spreminja od 43° do 44,5°. Nekatera zrna avgita obdaja rogovača, kar dokazuje, da je potekala kristalizacija femičnih mineralov normalno.

Magnetitu in apatitu, kot primarnima akcesornima mineraloma, se pridružujejo zeoliti, kalcit in klorit.

Tudi osnova tega timocitovega odlomka je kriptokristalna. Njegovo modalno sestavo kaže tabela 1.

Na površinskem kopu Čoka Dulkana je v timocitovi vulkanski breči plast dacitove vulkanske breče, debele 20 do 35 m. Timocitova breča v krovnini te plasti vsebuje tu in tam kose dacita, ki dosežejo 50 cm. Dacitove odlomke smo našli tudi v timocitovi breči ob potoku, ki se v Bor-Selu, približno 200 m zahodno od jeza, izliva v Borsko reko.

Sveži dacitovi odlomki so svetlo sivi, ko pa nekoliko prepere, so svetlo sivkasto rjavi. Vsebujejo enake vtrošnike kakor timocit, tj. plagioklaze, rogovačo in biotit, ki se jim pridružujejo še zrna kremena. Značilno je, da imata rogovača in biotit enak habitus kakor v timocitu ter dosežeta tudi enake dolžine, vendar pa so plagioklazova zrna povprečno vsaj še enkrat večja kakor v timocitu; povprečno merijo 2,2 × 1 mm, najdemo pa tudi zrna s premeri 8 × 3 mm. Osnova je mikrokristalna.

Plagioklazova zrna v teh odlomkih so navadno kaolinizirana in karbonatizirana, sveži plagioklazi so redki. Ti so dvojčično zgrajeni, conarni in pogosto zdrobljeni ali okrušeni. Pripadajo andezinu, ki vsebuje povprečno 48 % an; jedra vsebujejo povprečno 56%, periferne cone pa 44,5% an.

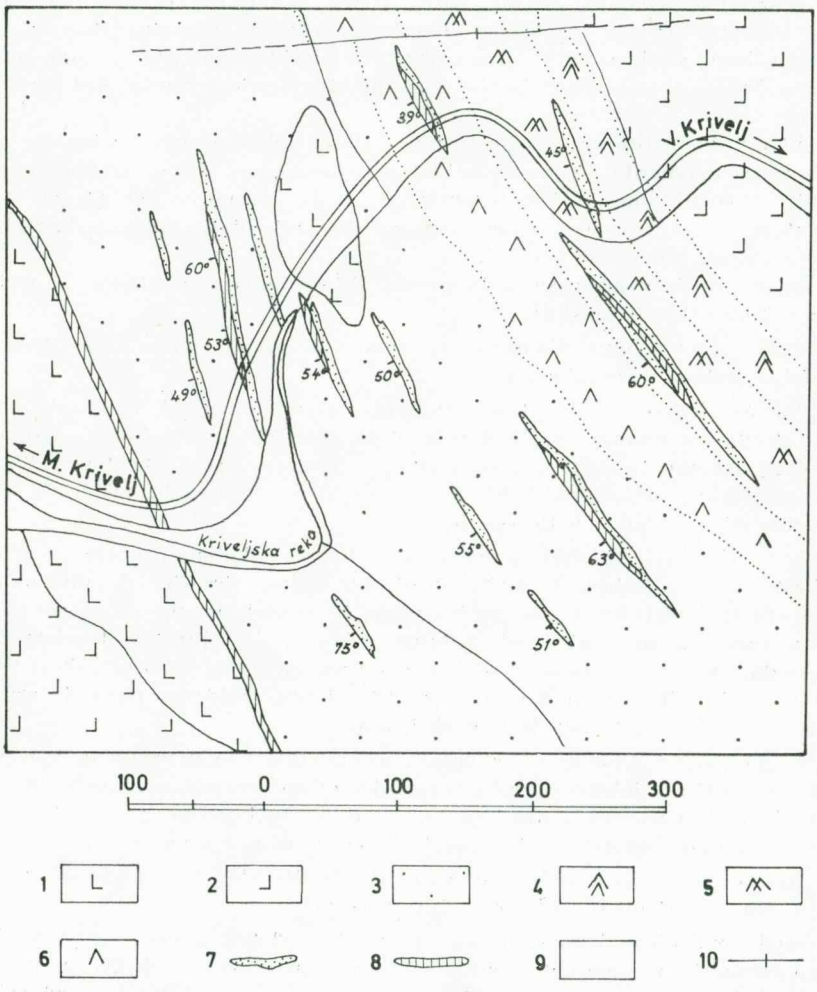
Kremenova zrna dosežejo premere 7 mm. Večidel so zaobljena, vendar tu in tam še zasledimo obrise pravilnih presekov.

Med femičnima komponentama prevladuje dokaj sveža rogovača. Ima jasen pleohroizem, njen kot potemnitve se spreminja od 14,5° do 20°, povprečno pa meri 18,5°, Biotit je delno kloritiziran in karbonatiziran. V rogovačinih vtrošnikih smo našli le magnetitova zrna, v biotitovih pa tudi plagioklazova.

Poleg magnetitovih in apatitovih zrn vsebuje osnova tudi lističe klorita in kalcit.

Timocitova breča vsebuje ponekod tudi kose sivo zelene, na oko drobnozrnate predornine. Številne drobne, toda igličaste rogovače se tako prepletajo, da ima predornina intersertalno strukturo. V njej najdemo nadalje osamljena, do 2 cm velika zrna rogovače ali biotita, ki imata enak habitus kakor v timocitu. Pod mikroskopom najdemo poleg plagioklazov, rogovače in biotita še zrna piroksena, magnetita in apatita.

Plagioklazova zrna so navadno idiomorfna, vendar zelo majhna; povprečno merijo le 0,2 × 0,1 mm. So dvojčično zgrajena in conarna, vsebujejo pa 77,5 do 89% an.



Sl. 5. Geološka karta srednjega dela Kriveljske soteske
Fig. 5. Geologic sketch map of the middle part of Gorge of Krivelj

1. Rogovačni andezit
   Hornblende andesite
2. Vulkanska breča rogovačnega andezita
   Volcanic breccia of hornblende andesite
3. Timocitova vulkanska breča
   Timocite volcanic breccia
4. Vulkanska breča rogovačno biotitnega andezita (majhni vtrošniki)
   Volcanic breccia of hornblende-biotite andesite (large phenocrysts)
5. Vulkanska breča rogovačno biotitnega andezita (veliki vtrošniki)
   Volcanic breccia of hornblende-biotite andesite (small phenocrysts)
6. Vulkanska breča rogovačno biotitnega andezita (prehod v timocit)
   Volcanic breccia of hornblende-biotite andesite (transition to timocite)

Kakor smo že omenili, najdemo v tej kamenini dve vrsti rogovače. Igličasta zrna dosežejo premere 2 × 0,15 mm, povprečno pa 0,6 × 0,09 mm. Pleohroizem ni posebno izrazit. Navadno so v obrobnih delih nekoliko močneje zelena, v sredini pa medlo zelena. Tudi kot potemnitve je v obrobnih delih nekoliko manjši kakor v osrednjih. Sem ter tja obdaja rogovačina zrna piroksen, ki tvori nekajkrat tudi idiomorfna zrna.

Poleg igličastih rogovačinih zrn ločimo različke, ki dosežejo premere 2 cm in se po optičnih lastnostih približujejo rogovači v timocitu.

Med opisanimi zrni, ki se jim pridružujeta še magnetit in apatit, zapazimo delno brezbarvno, delno svetlo rjavo slabo anizotropno snov. Ta tvori nekajkrat fibrozne, radialno trakaste agregate z lomnim količnikom, ki je nekoliko večji od 1,50. Ta snov predstavlja morda zeolite, morda pa steklo, ki je postalo zaradi napetosti anizotropno.

Velika zrna rogovače in biotita dokazujejo genetsko sorodnost te predornine s timocitom.

Na vzhodnih pobočjih Čoka Bare smo v vulkanski breči našli poleg svežih timocitovih odlomkov tudi hidrotermalno spremenjene orudene kose timocita. Po njihovi mineralni sestavi in strukturi sklepamo, da gre za dele rudnih žil, ki so nastopale v timocitu in jih je mlajša erupcija zdrobila (M. Drovenik, 1966).

Osnova timocitove vulkanske breče borskega pasu je povečini sivo zelena, le kadar vsebuje pelit, je svetlo ali celo temno rdeča. Sestoji iz kristalov in kristalnih drobcev plagioklazov, rogovače, biotita, magnetita in apatita ter timocitovih drobcev (tab. I. sl. 3). Na površinskem kopu Čoka Dulkan, pa tudi drugod v borskem pasu, so plagioklazovi kristali in drobci preveč prepereli, da bi jih mogli optično preiskati. Sveže smo našli le v bloku breče na 5. obzorju. V teh plagioklazovih zrnih se spreminja količina anortita od 54,5% do 64,0% povprečno pa smo našli 61% an, jedra vsebujejo tudi 72% an.

Plagioklazova zrna v osnovi vulkanske breče vsebujejo enake količine anortita kakor plagioklazova zrna v timocitovih odlomkih.

Timocitova vulkanska breča in aglomerat borskega pasu imata torej dokaj homogeno sestavo. V breči močno prevladujejo timocitovi odlomki, le manjše količine (približno 10 %) pripadajo drugim kosom.

Breča kriveljskega pasu tudi ni plastovita. Vendar pa vsebuje v srednjem, predvsem pa v severozahodnem delu plasti tufa, tufita in pelita, ki imajo smer NW—SE in vpadajo proti SW. Zato moremo celotnemu pasu pripisati isto smer in vpad. V njihovi talnini je vulkanska breča rogovačnega andezita. Krovnino sestavlja apneni pelit, ki je med Lozinim poljem in sotesko Kriveljske reke zahodno od Velikega Krivelja svetlo rdeč in siv, med sotesko in zahodnimi pobočji Gurgule pa siv.

7. Tuf in tufit
   Tuff and tuffite
8. Pelit
   Pelite
9. Aluvij
   Alluvium
10. Prelom
    Fault

CORRECTION IN THE EXPLANATION OF FIG. 5.
Change, please, the English text in points 4. and 5.

Stratigrafska lestvica piroklastičnih kamenin kriveljskega pasu je najlepše vidna v srednjem delu Kriveljske soteske (sl. 5).

Piroklastične kamenine rogovačnega andezita prekriva breča z odlomki rogovačno biotitnega andezita, v katerem so femične in salične komponente enako velike ter ne presežejo 5 mm. Za odlomke, ki so jih izvrgle nadaljnje erupcije, so značilni veliki vtrošniki, ki dosežejo premere 1,5 cm. V breči z odlomki, ki vsebujejo velike vtrošnike so ponekod kosi levkokratnega rogovačno biotitnega andezita. Postopen prehod v timocitovo brečo tvori breča z odlomki, v katerih imata rogovača in biotit enako velike premere kakor v timocitu, med plagioklazovimi vtrošniki pa nastopajo tudi zrna s premeri do 1 cm. Modalno sestavo različkov rogovačno biotitnega andezita kaže tabela 1 (zapored. št. 5 do 8).

Kemično smo analizirali vzorca z majhnimi in velikimi vtrošniki v odlomkih rogovačno biotitnega andezita (tabela 3 in 4).

ROGOVAČNO BIOTITNI ANDEZIT Z MAJHNIMI VTROŠNIKI IZ VULKANSKE BREČE

HORNBLENDE-BIOTITE ANDESITE WITH SMALL PHENOCRYSTS FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 3 — Table 3

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	61,90 %	Q	22,9%	21,1%	21,6%	21,4%	24,5%
TiO_2	0,45	or, Or	9,5	9,7	8,8	8,8	8,0
Al_2O_3	17,21	ab, Ab	21,7	23,0	23,0	23,0	23,0
Fe_2O_3	3,36	an, An	31,4	32,0	32,0	28,6	21,0
FeO	2,26	Wo	—	0,4	—	—	—
MnO	0,06	En	—	8,4	6,4	0,8	—
MgO	2,98	hy, Hy	8,0	1,3	1,3	1,3	—
CaO	6,65	di	0,7	—	—	—	—
Na_2O	2,55	Ho	—	—	1,5	7,5	12,2
K_2O	1,64	Bi	—	—	1,3	1,3	1,6
P_2O_5	0,13	Ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3
H_2O+	0,77	il, Ru	0,4	0,3	0,3	0,5	—
H_2O-	0,20	mt, Mt	4,8	3,5	3,5	3,5	3,9
CO_2	0,11	At, Chl	—	—	—	2,0	4,3
S	0,004	Ka	—	—	—	0,8	1,2
	100,27 %		99,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	208	ti	1,0
al	34,3	p	0,2
fm	30,1	mg	0,50
c	24,0	k	0,28
alk	11,6	π	0,47
		γ	0,12
		qz	+62

Tip magme: Kremenovo dioritni (peleeitski)
CIPW II. 4. 4. 4.

Glede na različno preračunavanje dobimo naslednje vrednosti za odstotek anortita: 59 % an (CIPW), 58 % (Niggli 1 in 2), 56 % an (Niggli 3) in 47,5 % an (Barth). Barvni indeks niha takole (brez *Ka* in *At*, oziroma *Chl*): 14,2 (CIPW), 14,2 (Niggli 1), 14,6 (Niggli 2), 15,0 (Niggli 3) in 18,0 (Barth).

Nigglijeve vrednosti se približujejo vrednostim, ki smo jih dobili za različke rogovačno biotitnega andezita z Rudjevice (tabela 20) in Livada Denke (tabela 22), delno tudi vrednostim za različke rogovačnega andezita; npr. rogovačni andezit z zahodnega pobočja Kriveljskega kamna (tabela 25). Značilni sta visoki vrednosti *si* in *qz*, oziroma *Q* v normativni in modalni sestavi. Ker nastopa v odlomku kalcedon le v zelo majhni količini, ni razloga, da bi pripisali povečanje SiO_2 preperevanju. Mikrokristalna osnova vsebuje torej večje količine kremena; kamenina predstavlja prehod v dacit.

ROGOVAČNO BIOTITNI ANDEZIT Z VELIKIMI VTROŠNIKI IZ VULKANSKE BREČE

HORNBLENDE-BIOTITE ANDESITE WITH LARGE PHENOCRYSTS FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 4 / Table 4

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	54,50 %	Q	12,9 %	12,9 %	13,1 %	13,9 %	14,7 %
TiO_2	0,55	or, Or	3,9	3,3	2,0	2,0	2,0
Al_2O_3	18,09	ab, Ab	25,4	26,5	26,5	26,5	27,0
Fe_2O_3	4,31	an, An	36,0	36,0	36,0	32,5	25,5
FeO	2,81	Wo	—	2,7	—	—	—
MnO	0,06	di	4,9	—	—	—	—
MgO	4,15	hy, Hy	9,2	1,3	1,3	1,3	—
CaO	8,45	En	—	12,0	3,8	—	—
Na_2O	2,94	Ho	—	—	9,9	13,8	18,3
K_2O	0,60	Bi	—	—	2,1	2,1	1,8
P_2O_5	0,13	mt, Mt	6,5	4,7	4,7	4,7	5,3
H_2O^+	1,13	il, Ru	0,8	0,3	0,3	0,3	—
H_2O^-	2,42	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
CO_2	—	At, Chl	—	—	—	1,6	4,3
		Ka	—	—	—	1,0	0,8
	100,14 %		99,9 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Nigglijeve vrednosti so:

si	160	ti	1,0
al	29,2	p	0,2
fm	34,8	mg	0,53
c	26,6	k	0,07
alk	9,4	π	0,43
		γ	0,15
		qz	+22

Tip magme: dioritni (dioritni)
CIPW II. 4. 4. 4.

Plagioklazi vzorca z velikimi vtrošniki imajo naslednjo sestavo: 58,5 % an (CIPW), 57,5 % (Niggli 1 in 2), 55 % (Niggli 3) in 48 % an (Barth). Izračunani barvni indeksi so (brez sekundarnih mineralov): 21,7 (CIPW), 21,3 (Niggli 1), 22,4 (Niggli 2), 22,5 (Niggli 3) in 25,7 (Barth).

Čeprav se kamenina tega odlomka na pogled bistveno razlikuje od timocitovih odlomkov, kažejo tako kemična analiza kakor tudi Nigglijeve vrednosti veliko podobnost kemične sestave (primerjaj tabelo 4 s tabelo 1 in s podatki po M a r i ć u, 1957).

Odlomki v breči rogovačno biotitnega andezita, ki tvori v Kriveljski soteski in na vzhodnem pobočju Kraku Kalafira talnino timocitove vulkanske breče, se po strukturi in habitusu femičnih sestavin močno približujejo timocitu. Vsebujejo pa precej večje plagioklazove vtrošnike, pogosto srečamo zrna s premeri 5 mm do 10 mm. Tekstura kamenine je ponekod hialopilitska, drugod kriptokristalna. Akcesorna minerala sta magnetit in apatit.

Če upoštevamo strukturo in mineralno sestavo te kamenine, pridemo do sklepa, da predstavlja vmesni člen med odlomki rogovačno biotitnega andezita z velikimi vtrošniki in timocitovimi odlomki. Ker se v odlomkih plagioklazovi vtrošniki polagoma zmanjšujejo, je prehod breče rogovačno biotitnega andezita v timocitovo brečo postopen in meja nejasna.

Timocitove piroklastite kriveljskega pasu sestavlja v veliki meri vulkanska breča, ki prevladuje med Selištem in sotesko Kriveljske reke ter v tektonsko premaknjenem podaljšku jugovzhodno od postajališča Brestovac. Severozahodno od soteske je breče vedno manj, zato pa se močno poveča količina tufa in tufita.

Velikost odlomkov se od kraja do kraja naglo spreminja. V soteski smo poleg blokov s premeri 1,5 m našli kose, ki merijo le nekaj cm; prvi, kakor drugi pa nastopajo v drobnozrnati tufski osnovi. Ta breča predstavlja izrazito nesortiran piroklastični material. Kosi so enako veliki le v tistih delih breče, ki predstavlja talnino tufske ali tufitne plasti.

Breča med Selištem in sotesko vsebuje povprečno 75 % odlomkov in 25 % veziva. Močno prevladujejo timocitovi kosi, rogovačni andezit je redek in prav tako rogovačno biotitni andezit, ki se od timocita razlikuje le po velikosti vtrošnikov.

Omenimo naj še, da smo našli ob poti v Veliki Krivelj tudi dva odlomka marmoriziranega apnenca, na vzhodnem pobočju Kriveljskega kamna pa nekaj kosov masivne bakrove rude (M. D r o v e n i k, 1966).

Timocitovi odlomki imajo porfirsko strukturo in homogeno, pa tudi fluidalno teksturo.

V zbruskih vseh vzorcev močno prevladujejo plagioklazi, ki so delno idiomorfni, delno okrušeni in zdrobljeni; spremljajo jih številni ostrorobi plagioklazovi drobci, katerih premeri nihajo od nekaj mikronov do nekaj desetink mm. Glinenci vsebujejo povprečno 59 % anortita. Ker smo našli tudi v odlomkih iz borskega pasu številna zdrobljena in okrušena zrna ter ostrorobe drobce, sklepamo, da so zdrobljeni plagioklazi (prav tako rogovača in biotit) splošen pojav v timocitovih kosih. Po kriptokristalni osnovi in zdrobljenih vtrošnikih zanesljivo ločimo timocit, ki je bil pri erupciji izvržen, od timocita, ki je skrepenel pod površjem.

Kemično analizo timocitovega odlomka iz vulkanske breče kriveljskega pasu pri potoku Buzej ter njegovo normativno in modalno sestavo kaže tabela 5.

TIMOCITOV ODLOMEK IZ VULKANSKE BREČE KRIVELJSKEGA PASU

TIMOCITE FRAGMENT FROM VOLCANIC BRECCIA OF KRIVELJ BELT

Tabela 5 Table 5

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	58,08 %	Q	16,8 %	15,5 %	16,1 %	17,0 %	18,7 %
TiO_2	0,50	or, Or	8,9	9,0	7,7	8,2	7,5
Al_2O_3	18,05	ab, Ab	23,0	24,7	24,7	24,7	24,5
Fe_2O_3	4,12	an, An	33,5	33,5	33,5	28,5	23,5
FeO	2,16	Sp	—	—	—	2,4	—
MnO	0,063	di	0,8	—	—	—	—
MgO	3,81	hy, Hy	9,8	0,6	0,6	0,6	0,4
CaO	7,20	En	—	10,8	7,0	—	—
Na_2O	2,65	Wo	—	0,9	—	—	—
K_2O	1,47	Bi	—	—	2,1	1,3	1,6
P_2O_5	0,13	Ho	—	—	3,3	11,3	12,9
S_2	0,004	mt, Mt	6,0	4,4	4,4	4,4	4,6
H_2O^+	1,34	il, Ru	0,9	0,3	0,3	0,3	—
H_2O^-	0,35	ap, Ap	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
CO_2	0,11	At, Chl (1)	—	—	—	1,0	6,0
	100,03 %		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Nigglijeve vrednosti so:

si	178	k	0,25
al	32,6	mg	0,57
fm	32,8	ti	1,1
c	23,7	p	0,2
alk	10,9	π	0,46
		γ	0,14
		qz	+34,5

Magma: Kremenovo dioritna (peleeitska)
CIPW II. 4. 4. 4.

Količina anortita, preračunana iz kemične analize, se spreminja takole: 59 % (CIPW), 57 % (Niggli 1), 57 % (Niggli 2), 53 % (Niggli 3) in 49 % (Barth). Barvni indeksi so: 17,8 (CIPW), 17,3 (Niggli 1), 18,0 (Niggli 2), 19,2 (Niggli 3) in 25,8 (Barth).

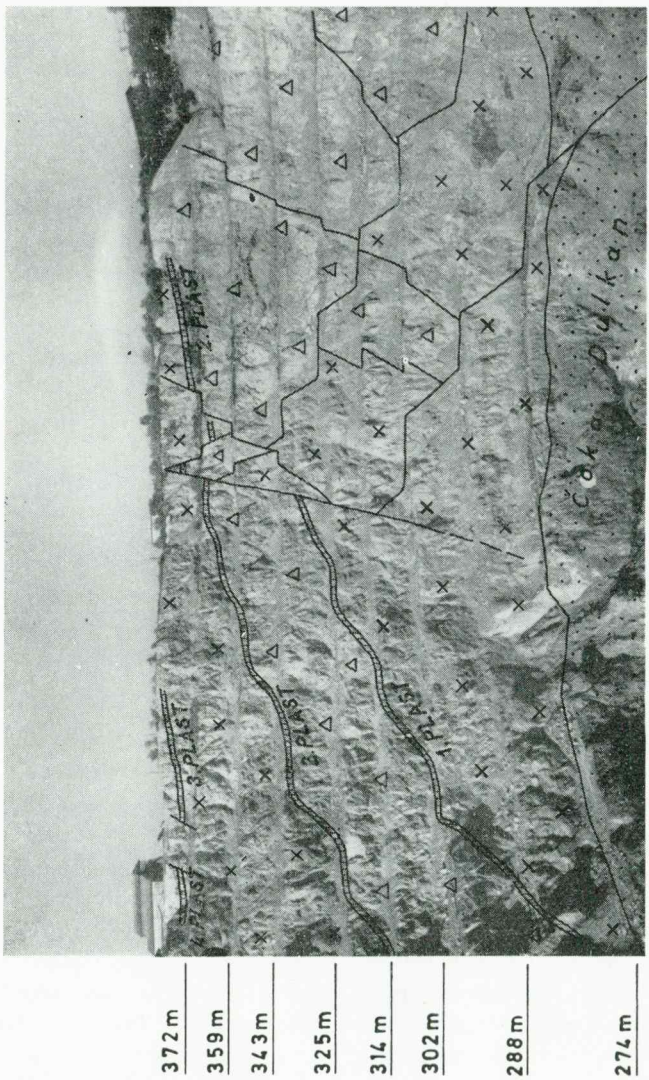
Kemični sestavi vzorcev timocita borskega in kriveljskega pasu sta si zelo podobni kar dokazujejo tudi preračunane Nigglijeve vrednosti (*si, al, fm, c,* in *alk*). Razlika med obema je le v tem, da ima odlomek iz kriveljskega pasu nekoliko večji *si,* kar govori za peleeitski tip magme.

Osnova breče je tufska ali tufitna. Poleg plagioklazovih in rogovačinih drobcev so v njej še biotit, magnetit, apatit in drobci andezita, v tufitni osnovi pa se tem komponentam pridružuje še kalcit.

Tuf in tufit

Plasti tufa, tufita in apnenega pelita so v piroklastičnih kameninah rogovačno biotitnega andezita borskega pasu dokaj redke. Južno od Bora in severozahodno od potoka Krutome jih sploh nismo našli, lepo pa jih moremo opazovati v breči površinskega kopa Čoka Dulkan. Tu odkopavajo varnostne stebre in stropove istoimenskega rudnega telesa, ki jih ni bilo mogoče odkopati z jamskimi deli, kakor tudi dele »piritnih prerovov«, tj. manjših rudnih teles ob zahodni tektonski meji Čoka Dulkana.

Rudno telo Čoka Dulkan leži v tektonski coni, ki ji delno sledi tudi Borska reka. Proti severu in severovzhodu meji na hidrotermalno močno spremenjen



Sl. 6. Vložki dacitove breče in štirih plasti rdečega pelita v timocitovi breči na površinskem kopu Čoka Dulkan

Fig. 6. Timocite breccia with intercalations of dacite breccia and four red pelite layers in the open pit of Čoka Dulkan

1 Dacitova breča, *2* Timocitova breča, *3* Rudno telo *4* Plast rdečega pelita, *5* Prelom
1 Dacite breccia, *2* Timocite breccia, *3* Ore body, *4* Red pelite layer,, *5* Fault

timocit, proti jugu in zahodu pa na sveže piroklastične kamenine. Čoka Dulkan ima tektonske meje in vpada proti SW. Tudi meja med hidrotermalno spremenjenim timocitom in svežimi piroklastičnimi kameninami je tektonska; posebno jasna je v severozahodnem delu površinskega kopa.

Strme južne in zahodne etaže površinskega kopa so izdelane v piroklastičnih kameninah, ki jih prekriva serija borskega pelita s tufom in tufitom.

Pogled s severnih etaž proti južnim in zahodnim odkrije v sivo zelenih timocitovih piroklastičnih kameninah dokaj debelo plast dacitovih piroklastitov (sl. 6), ki je nad rudnim telesom Čoka Dulkan antiklinalno vzbočena. Os antiklinale vpada povprečno 20° proti SW. Vzhodno krilo, ki tektonsko ni bilo porušeno, vpada pod kotom 32° proti jugovzhodu, zahodno pa je močno deformirano. V krovnini timocitovih piroklastičnih kamenin leži do 15 m debela plast vulkanske breče rogovačnega andezita, ki vsebuje posamezne kose timocita.

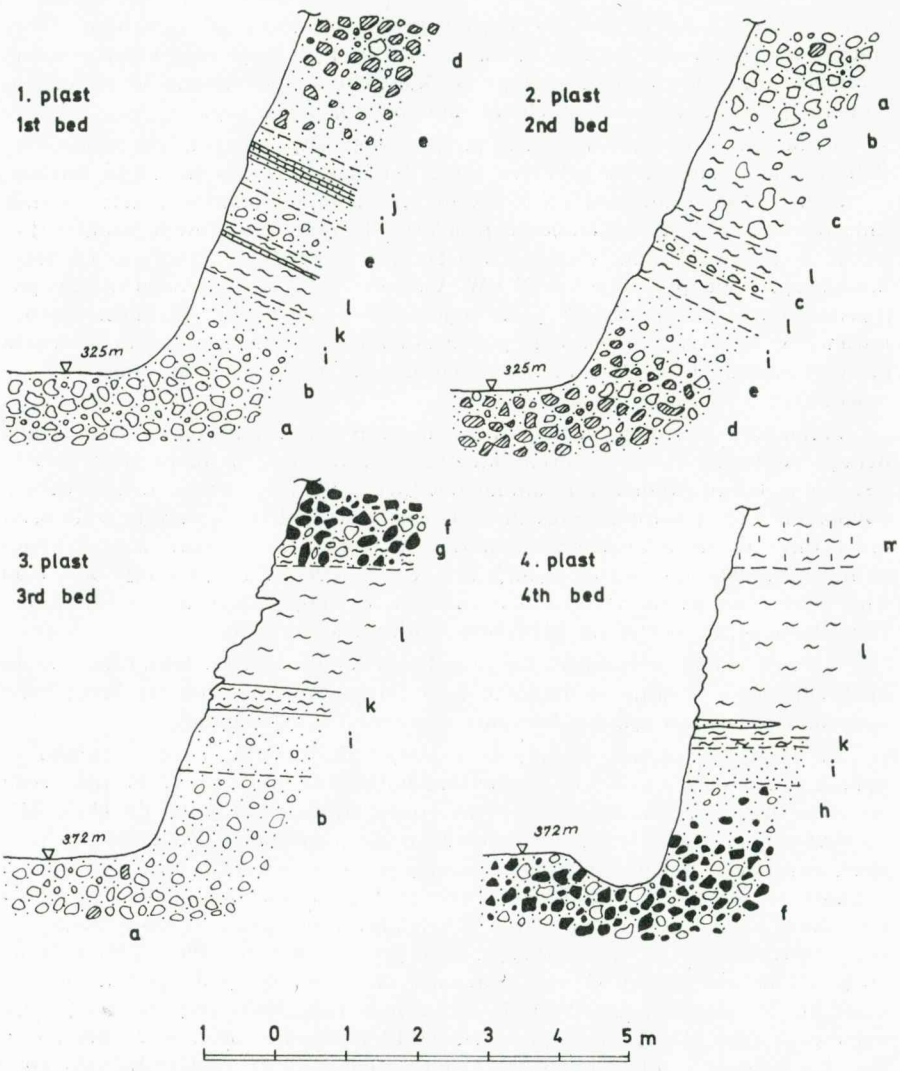
Mimo tega zasledimo na južnih in zahodnih etažah štiri plasti rdečega apnenega pelita (sl. 6), ki ga spremljata tuf in tufit. Prva, najnižja plast, debela povprečno 0,3 m, predstavlja talnino dacitove vulkanske breče, druga, debela povprečno 1 m, pa njeno krovnino. Tretja plast pelita razmejuje vulkanski breči timocita in rogovačnega andezita. Četrta plast pripada že borskemu pelitu in predstavlja njegov najnižji del. Njena debelina se spreminja od 0,7 do 2 m, povprečno pa meri 1,2 m. Tuf in tufit, ki skoraj povsod spremljata vse štiri plasti pelita, nastopata predvsem v njihovih talninah.

M a r i ć (1957) je razlagal, da je pelit prišel med brečo tektonsko. Da bi ugotovili pravo prvotno medsebojno lego pelita, tufa in tufita ter breče, smo podrobno pregledali njihove kontakte ter zgradbo in sestavo.

Na etaži 325 je lepo ohranjena najnižja plast pelita. V njeni talnini se nahaja timocitova, v krovnini pa dacitova vulkanska breča (sl. 7). Ta plast sega od etaže 288, kjer ima smer E—W in vpada strmo proti jugu, do etaže 343, kjer ima smer NE—SW in vpada blago proti jugovzhodu. Na etaži 325 je v breči tem manj timocitovih kosov čim bolj se bližamo pelitni plasti in njihova velikost se postopoma zmanjšuje. Tako prehaja timocitova vulkanska breča v tufsko in ta v masivni tuf, ki sestoji iz kristalov in kristalnih drobcev plagioklazov, rogovače, biotita in magnetita. Tuf prehaja v tufit. Plast pelita je na etaži 325 debela skoraj 80 cm, ima smer NE—SW in vpada pod kotom 42° proti SE. V zgornjem delu vsebuje tanko polo tufa. Pelit je prekrit s plastjo dacitove tufske breče, ki se proti etaži 319 izklinjuje, proti etaži 340 pa se širi. Ko izginejo v tufski breči kosi dacita, sledi najprej masivni in nato konkordantno plastoviti tuf.

V nekoliko bolj grobozrnatem masivnem tufu smo našli poleg rogovače, plagioklazov, biotita in magnetita tudi zrna kremena, velika do 4 mm, kar je jasen dokaz, da se je usedel tudi ta piroklastični material med dacitovo erupcijo. Nadaljnje dacitove erupcije so dale najprej tufsko in nato pravo dacitovo vulkansko brečo.

Dacitova vulkanska breča vsebuje tu in tam posamezne timocitove odlomke. Njihova količina se dober meter pred drugo plastjo pelita naglo poveča. Istočasno se poveča količina drobnozrnatega piroklastičnega materiala, ki vsebuje vedno več rdečega pelita.



Sl. 7. Geološki preseki štirih plasti rdečega pelita v južnem delu površinskega kopa Čoka Dulkan

Fig. 7. Geologic sections of the four red pelite layers in the southern slope of Čoka Dulkan open pit

a Timocitova vulkanska breča
Timocite volcanic breccia
b Timocitova tufska breča
Timocite tuff breccia
c Timocitova tufitna breča
Timocite tuffite breccia
d Dacitova vulkanska breča
Dacite volcanic breccia
e Dacitova tufska breča
Dacite tuff breccia
f Vulkanska breča rogovačnega andezita
Volcanic breccia of hornblende andesite
g Tufska breča rogovačnega andezita
Tuff breccia of hornblende andesite
h Tufitna breča rogovačnega andezita
Tuffite breccia of hornblende andesite

Tudi druga plast pelita je na etaži 325 dokaj dobro ohranjena; meri skoraj 1 m. V njenem srednjem delu smo našli tako na etaži 325, kakor tudi na etaži 343, vložek timocitove tufitne breče (sl. 8), ki meri največ 30 cm, medtem ko dosežejo odlomki premer 10 cm. Značilno je, da so prvo izvrženi odlomki »vgreznjeni« v pelitu in imajo največje premere. V srednjem delu vložka imajo odlomki manjše premere, v zgornjem delu pa najdemo le tufit, ki sestoji iz drobnozrnatega piroklastičnega materiala in pelita. Breče, ki sestoji iz predorninskih odlomkov in ima pelitsko vezivo, ne moremo imenovati tufska breča, temveč tufitna breča. Vložek tufitne timocitove breče leži konkordantno v pelitu in je singenetski; niti v njegovi talnini niti v krovnini ni nobenih znakov tektonike. Mlajše razpoke sečejo tako tufitno brečo kakor tudi obdajajoč pelit. Prehod druge pelitne plasti v krovninsko timocitovo vulkansko brečo je postopen. V krovnini pelita opazujemo namreč najprej le posamezne timocitove odlomke (bloke) v pelitu. Nekaj decimetrov vstran se začno pojavljati v temno rdečem pelitu drobci plagioklazov, rogovače, biotita in magnetita, istočasno pa se poveča količina izvrženih timocitovih odlomkov. Zrna plagioklazov in rogovače iz te tufitne breče imajo ostre robove, sicer pa so povsem sveža. Plagioklazova zrna izvirajo brez dvoma iz timocita, kajti količina anortita se spreminja od 54 do 58,5 % an.

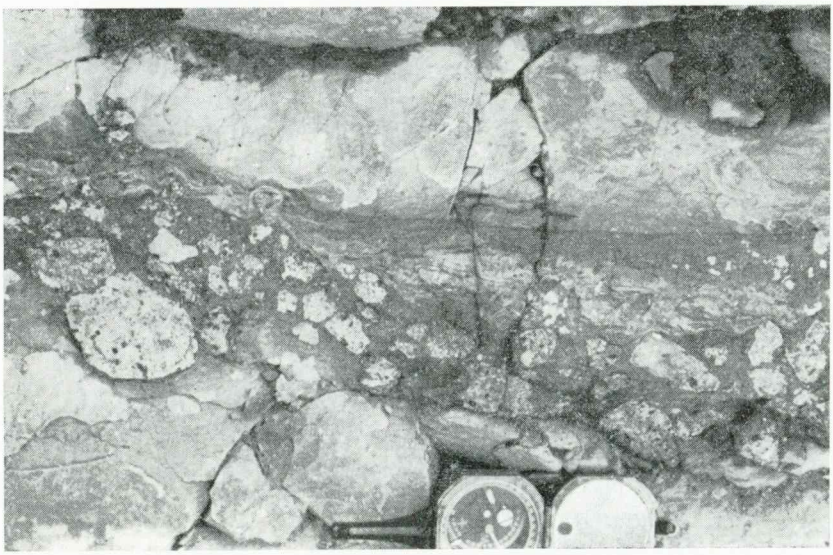
Više prehaja kamenina v značilno timocitovo vulkansko brečo (sl. 7). Količina pelita v osnovi se zmanjšuje, polagoma začne prevladovati droben piroklastični material. Dobrih 10 m vstran je pelita v osnovi sicer zelo malo, vendar ji daje rahlo rdečo barvo.

Tretja plast pelita, ki ima smer N 310° W in vpada blago proti SSW, razmejuje vulkanski breči timocita in rogovačnega andezita. V severozahodnem delu površinskega kopa leži ta plast drugače; tam ima smer NE—SW in vpada pod kotom 28° NW. Predvsem lepo je bila odkrita na etaži 372, pod bližnjico, ki je vodila iz uprave rudnika na površinski kop Čoka Dulkan. Timocitova vulkanska breča prehaja na etaži 372 v tufsko brečo (sl. 7 in 9). Končno timocitovi kosi s premerom nad 4 cm povsem izginejo in brečo zamenja masivni kristalasti tuf. Sestavljajo ga različno velika zrna plagioklazov, rogovače, biotita in magnetita. Tu in tam najdemo v njem vložke tufske breče. Tuf prehaja više v tufit, ki meji neposredno na pelit. V krovnini pelita nahajamo najprej tufitno, nato pa vulkansko brečo rogovačnega andezita.

Na isti etaži, nedaleč od pravkar popisanega profila, je zelo lepo ohranjena tudi četrta plast pelita, ki nastopa v krovnini vulkanske breče rogovačnega andezita. Ta plast ima enako smer in vpad kakor tretja. V breči opazujemo proti meji s pelitom vedno manj kosov andezita in čedalje več tufske osnove. Tako prehaja vulkanska breča najprej v tufsko, ta pa v tuf, ki ga ob pelitu zamenja tufit.

Rdeči apneni pelit je na površinskem kopu obenem s krovnino in talnino pogosto porušen, vendar smo na več krajih našli prvotno neporušeno zaporedje

i Masivni tuf
Massive tuff
j Plastoviti tuf
Bedded tuff
k Tufit
Tuffite
l Rdeči apneni pelit
Red calcareous pelite
m Sivi apneni pelit
Gray calcareous pelite



Sl. 8. Vložek timocitove tufitne breče v pelitu. Južni del površinskega kopa Čoka Dulkan; etaža 343 m
Fig. 8. Intercalation of timocite tuffite breccia in the pelite. The southern part of Čoka Dulkan open pit; bench 343 meters

plasti s postopnimi medsebojnimi prehodi. To dokazuje, da so pelitne plasti v primarni legi in da so se sedimentirale piroklastične in klastične kamenine obenem. Kochansky-Devidé (1951) je našla v pelitu foraminiferno favno, na podlagi katere je uvrstila te plasti v senon.

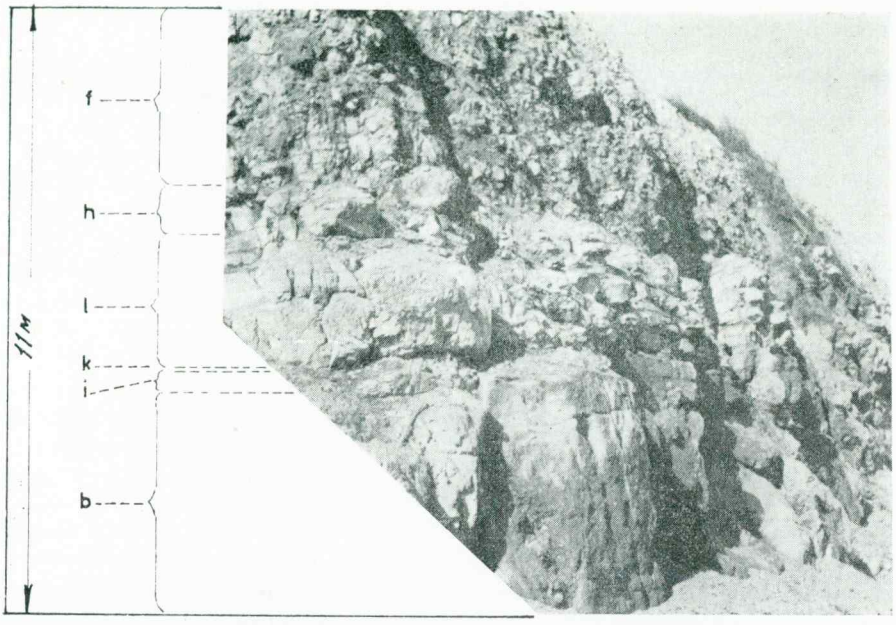
Breča v jugovzhodnem ter južnem in zahodnem pobočju površinskega kopa Čoka Dulkan torej ni tektoklastična, temveč vulkanska, oziroma tufska in tufitna, senonske starosti. Te kamenine so nastajale v morju, zato je malo verjetno, da bi mogli najti med pelitom in andezitskimi kosi kontaktne spremembe. Iskali smo jih, toda kot Marić (1957), jih tudi mi nismo našli. Še manj verjetno je, da bi se mogla razviti migmatizacija, kakor to popisuje Clar (1946).

Clar sicer ne navaja, kje je našel močne kontaktne spremembe in celo pojave migmatizacije, vendar sodimo po popisu, da je opazoval podobne profile kakor mi, najbolj verjetno tudi na površinskem kopu Čoka Dulkan.

Pelitne plasti se s površinskega kopa Čoka Dulkana raztezajo do Bor—Sela in do Borskega potoka. Mimo tega smo našli pelit ob bližnjici, ki vodi od železniškega postajališča Brestovac v vas, pa tudi ob potoku, ki izvira pod ravnino Bare ter se pri mostu izliva v Ujovo reko.

Timocitova vulkanska breča ni plastovita. Smer plasti piroklastičnih kamenin borskega pasu smo po plasteh tufa, tufita in pelita določili kot N 325° do 330° W, vpad pa povprečno 30° proti SW.

Plasti tufa, tufita in apnenega pelita so v kriveljskem pasu številnejše kakor v borskem, vendar v breči niso enakomerno razporejene in njihove



Sl. 9. Presek tretje plasti pelita ter njene talnine in krovnine. Južni del površinskega kopa Čoka Dulkan. Legenda na sl. 7
Fig. 9. Section of the 3rd pelite bed and its footwall and hanging wall. The southern part of the Čoka Dulkan open pit. Explanations see on Fig. 7

debeline se od kraja do kraja spreminjajo. V splošnem se količina tufa, tufita in apnenega pelita od SE proti NW povečuje.

Izmenjavanje piroklastičnih in klastičnih kamenin ter postopno zmanjševanje piroklastitov proti NW ob istočasnem povečanju količine pelita daje jugozahodnemu pobočju Gurgule prstasto strukturo.

Merjenja so pokazala, da pripadajo drobci plagioklazov v tufu labradoritu, njihova jedra ponekod celo kislemu bitovnitu. Povprečno vsebujejo plagioklazovi drobci iz tufa Kriveljske soteske 62,5 % an, z zahodnih področij Gurgule pa 59 % an. Ti podatki potrjujejo našo domnevo, da so bili plagioklazovi drobci izvrženi pri timocitovih erupcijah.

Med femičnimi komponentami prevladujejo v tufu rogovačini drobci, pogosto pa zasledimo tudi biotitove lističe. Rogovačine iveri so povsem sveže; njihov pleohroizem se spreminja od temno zelene (Ng) do svetlo zelene barve (Np), kot potemnitve pa meri povprečno 16,5°. Tudi biotitovi lističi so precej sveži, vendar upognjeni in zviti. Večji drobci biotita vsebujejo drobna zrna plagioklazov in magnetita.

Tufita je precej manj kakor tufa, le v severozahodnem delu pasu ga je nekoliko več. Nastopa v krovnini plastovitega tufa, ali pa kot tanjše pole v pelitu. Sestoji iz piroklastičnih drobcev in karbonatnega veziva. Tu in tam najdemo v njem zaobljeno zrnce kremena in sericit. Plagioklazovi drobci

iz vzorca tufita, ki smo ga vzeli v najbolj severozahodnem delu pasu, so pokazali pri podrobni optični preiskavi 55 % do 66,5 % anortita.

Bolj pestro sestavo ima tufit v apnenem pelitu. Najdemo ga predvsem v Kriveljski soteski in na zahodnem pobočju Gurgule. Sestavljajo ga zrnca in drobci plagioklazov, rogovače, magnetita, apatita in andezitov, mimo tega pa zasledimo v njem zaobljena zrnca kremena, ortoklaza, mikrolina, kvarcita, raznih skrilavcev ter lističe sericita. Tu in tam naletimo tudi na biotitove lističe, ki so ponekod sveži in imajo značilen pleohroizem, drugod pa močno kloritizirani.

Zrna z ostrimi robovi, predvsem dober del plagioklazovih zrn in rogovačine iveri predstavljajo piroklastični, zaobljena kremenova, ortoklazova in mikroklinova zrnca ter zrnca skrilavcev pa klastični material. Prva so bila izvržena pri podmorskih erupcijah, druga pa izvirajo iz paleozojskih kamenin severno od Velikega krša.

Prehodi med vulkansko brečo, tufom, tufitom in pelitom so postopni. Iz tega sklepamo, da se je pelit usedal v dobah vulkanskega mirovanja in slabših erupcij. Pelit v krovnini timocitovih piroklastitov je v spodnjem delu svetlo rdeč in vsebuje še posamezne vložke tufa in tufita, više pa je siv.

Z makrofavno so te plasti zelo siromašne. Našli smo le ostanke školjke rodu *Inoceramus*. Bolj pogostni so ostanki foraminifer iz rodu *Globotruncana*.

Rdeči apneni pelit kriveljskega pasu je na pogled in tudi pod mikroskopom enak rdečemu apnenemu pelitu borskega pasu, ki ga omenjajo že Lazarević (1912), Clar (1946) in Marić (1957). Sestavlja ga predvsem mikrokristalasti kalcit, najdemo pa tudi zrna kremena in plagioklazov, iveri rogovače in aktinolita, lističe sericita ter številne fosilne ostanke planktonskih organizmov. Nekatere plasti vsebujejo več glinaste substance in le slabo reagirajo s solno kislino (1:1). Sestava je povsem običajna, toda od kod rdeča barva?

Na to vprašanje sta odgovorila že Clar (1946) in Marić (1957), vendar vsak na svoj način. Clarova trditev, da je bil pelit ob meji s kosastimi andeziti »borskega tipa« rdeče ožgan, ni sprejemljiva, ker smo dokazali, da so pelit in piroklastične kamenine singenetski. Tudi po Mariću rdeče barve pelita ne bi smeli pripisovati kontaktnemu delovanju magme. Po njegovem mišljenju naj bi bil pelit obarvan epigenetsko od železovega hidroksida, ki je v tektonski coni iz femičnih mineralov timocita prodiral v porozne, še nekonsolidirane usedline.

Raziskave pelita tako iz borskega, kakor tudi iz kriveljskega pasu timocitovih piroklastičnih kamenin so nas privedle do drugačnega sklepa, ki temelji na sledečih ugotovitvah:

1. Plasti rdečega pelita so enako obarvane v porušenih in neporušenih conah.

2. V talnini rdečega pelita najdemo običajno tufit ali tuf, razen seveda ob tektonski meji. Njune femične komponente niso spremenjene; nikjer nismo našli kloritizacije, ki bi se pojavila, če bi bilo železo odvedeno.

3. Intenzivnost obarvanja se zmanjšuje od talnine proti krovnini, vendar najdemo v svetlo rdečem pelitu pogosto pole temno rdečega in obratno. Temno rdeče pole vsebujejo droben piroklastični material. Tudi pelitsko vezivo tufitne breče je navadno temno rdeče.

Spričo navedenega sklepamo, da je bil pelit obarvan že med sedimentacijo. Možno je, da je prišlo železo v obliki $FeCl_3$ pri vulkanskih erupcijah v morje, se oksidiralo in obarvalo nastajajoče usedline. Za takšno razlago govori piroklastični material v temno rdečih polah pelita. Podobne plasti nastopajo tudi v bolgarskem Srednegorju, kjer so jih starejši bolgarski geologi imenovali »couches rouges«.

Piroklastične kamenine rogovačnega andezita

Med piroklastičnimi kameninami rogovačnega andezita prevladuje vulkanska breča, medtem ko so tufska breča, tuf in tufit redkejši. Nahajamo jih predvsem severno in severozahodno od Bora, kjer grade vzhodni del Kriveljske soteske, vzhodno pobočje Kriveljskega kamna ter ozemlje med Brezanikom in Čeretom, Vulkansko brečo z odlomki rogovačnega andezita smo našli nadalje ob Kriveljski reki, ob vznožju grebena Kulmee in Selišta, na zahodnem pobočju Kraku Bugaresku in ponekod v krovnini piroklastičnih kamenin rogovačno biotitnega andezita.

Vulkanska breča

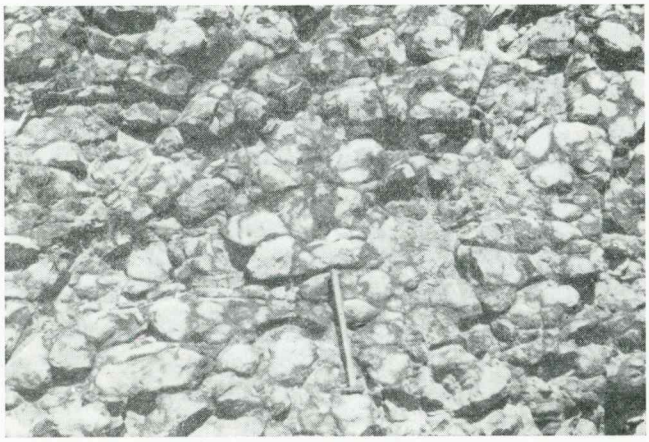
V vulkanski breči prevladujejo odlomki rogovačnega andezita, mimo njih pa nastopajo tudi odlomki drugih andezitov. Če primerjamo odlomke rogovačnega andezita iz različnih breč, ugotovimo že megaskopsko, da imajo sicer zelo podobno sestavo, vendar se razlikujejo po velikosti rogovačinih vtrošnikov, po razmerju med plagioklazovimi in rogovačnimi vtrošniki ter po razmerju med vtrošniki in osnovo. Pod mikroskopom smo našli, da vsebujejo predorninski odlomki nekaterih breč v majhnih količinah tudi biotit, odlomki drugih pa piroksen (avgit). Glede na to, ali nastopa biotit ali piroksen, so plagioklazovi vtrošniki nekoliko bolj kisli ali nekoliko bolj bazični.

Piroklastične kamenine rogovačnega andezita na vzhodnem delu Kriveljske soteske nastopajo v talnini piroklastičnih kamenin rogovačno biotitnega andezita; meja med obema brečama je ostra. Posamezni odlomki rogovačnega andezita v spodnjem delu vulkanske breče rogovačno biotitnega andezita dokazujejo, da so se končale erupcije rogovačnega andezita šele potem, ko so vulkani že bruhali piroklastični material rogovačno biotitnega andezita.

Močno prevladuje vulkanska breča, ki sestoji iz odlomkov rogovačnega andezita in tufskega ali tufitnega veziva. Odlomki merijo povprečno 20 cm do 30 cm; bloki s premeri nad en meter so redki. Pri preperevanju postane brečasta struktura še posebej jasna, ker so odlomki sivkasto zeleni, osnova pa temno sivkasta (sl. 10).

Porfirska struktura rogovačnega andezita je izražena z belimi plagioklazovimi in temno zelenimi, skoraj črnimi rogovačinimi vtrošniki; prvi dosežejo premer 7 mm, drugi pa celo 1 cm. Značilno je, da so paličasti rogovačini vtrošniki v predornini povsem nepravilno razporejeni, tako da ima na pogled intersertalno strukturo. Pod mikroskopom smo našli še zrnca magnetita ter osamljena zrnca piroksena in apatita. Sekundarni minerali, nastali pri preperevanju, so kalcit, kalcedon in kaolin, predvsem pa zeoliti.

Med vtrošniki vseh preiskanih vzorcev prevladujejo zrna plagioklazov, ki vsebujejo povprečno 64 % anortita (tabela 6).



Sl. 10. Vulkanska breča rogovačnega andezita z vzhodnega dela Kriveljske soteske
Fig. 10. Volcanic breccia of hornblende andesite from the eastern part of the Gorge of Krivelj

Zaradi preperevanja so številna plagioklazova zrna nekoliko kaolinizirana, v njihovih razpokah pa zasledimo zeolite.

Rogovačina zrna so sveža; številni so dvojčki po (100). Nekatera zrna so rahlo conarna. Pleohroizem se spreminja od olivno zelene (Ng) do svetlo rumenkaste zele barve (Np). Kot Ng [001] meri povprečno 15,5°. Enako kakor plagioklazova, so tudi številna rogovačina zrna okrušena ali zdrobljena. Njene iveri nastopajo skupaj s plagioklazovimi drobci v kriptokristalni osnovi.

Vsi raziskani odlomki vsebujejo v majhnih količinah tudi piroksenova zrna, ki so idiomorfna, le prav redko dvojčična in velika kvečjemu 0,3 x 0,3 mm. Po kotu potemnitve, ki meri povprečno 44°, sodimo, da pripadajo ta zrna avgitu.

Magnetitova zrna so pogostna, apatitova pa prav redka. Oba minerala imata pod mikroskopom pogosto idiomorfne preseke.

Tufsko vezivo breče sestavljajo drobci plagioklazov, rogovače, magnetita in prav redko piroksena. Tu in tam najdemo tudi majhne andezitske odlomke. Redki vložki tufa imajo v glavnem enako mineralno sestavo.

Iz Kriveljske soteske se širijo piroklastične kamenine rogovačnega andezita proti severozahodu do Gurgule in proti vzhodu do Velikega Krivelja, kjer meji vulkanska breča rogovačnega andezita na hidrotermalno spremenjeno kriveljsko cono. Breča je močneje kaolinizirana in limonitizirana, osnova je bolj spremenjena kakor odlomki, tako da je prehod postopen. V Velikem Krivelju sta v breči dva preboja rogovačnega andezita. Brečo z enakimi odlomki opazujemo ob Kriveljski reki ob vznožju Kulmee. Mimo preboja rogovačnega andezita smo našli v njej tudi preboj rogovačno biotitnega dacita.

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV ROGOVAČNEGA ANDEZITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE ANDESITE FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 6 Table 6

	1	2	3	4
Osnova	40,6 %	42,2 %	51,0 %	37,4 %
plagioklazi	35,8	31,2	31,1	39,9
rogovača	13,8	22,6	15,8	16,8
biotit	—	sl.	—	—
piroksen	0,4	—	—	—
magnetit	3,7	3,4	1,6	3,5
apatit	sl.	sl.	sl.	sl.
kalcit	sl.	0,6	0,5	2,4
klorit	—	sl.	sl.	sl.
zeoliti	5,7	sl.	sl.	sl.
kalcedon	sl.	—	—	—
kaolin	sl.	sl.	sl.	—
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

1. Odlomek rogovačnega andezita, vzhodni del Kriveljske soteske
2. Odlomek rogovačnega andezita, vzhodno pobočje Kriveljskega kamna
3. Odlomek rogovačnega andezita, desni pritok Ujove reke
4. Odlomek rogovačnega andezita, Ilijev potok

Piroklastične kamenine rogovačnega andezita se z vzhodnega pobočja Kriveljskega kamna spuščajo v dolino Kriveljske reke. Nastopajo v krovnini piroklastičnih kamenin mandeljnastega piroksenovega andezita; zato sodimo, da so erupcije rogovačnega andezita sledile erupcijam piroksenovega andezita. Plasti apnenega pelita, debele do 12 m, med timocitovimi piroklastičnimi kameninami in piroklastičnimi kameninami piroksenovega andezita, kakor tudi v talnini piroklastičnih kamenin rogovačnega andezita govore za to, da je bil med posameznimi erupcijami daljši časovni premor.

Tudi v teh piroklastičnih kameninah so tufske plasti osamljene. Značilno pa je, da se vulkanski breči pogosto pridružuje tufska. Odlomki, ki nastajajo v breči, pripadajo le enemu andezitskemu različku; breča je torej zelo homogena; njeni odlomki vsebujejo precej večje vtrošnike kot breča v vzhodnem delu Kriveljske soteske. V njih smo našli tudi biotit. Pod mikroskopom vidimo v zbruskih številne vtrošnike labradorita s povprečno 54 % anortita, obe že omenjeni femični komponenti ter magnetit in apatit. Sekundarni minerali, nastali pri preperevanju, so zeoliti, kalcit in klorit.

Osnova je kriptokristalna, s prehodom v mikrokristalno. Njena zrna so predrobna, da bi jih mogli ločiti. Prepoznamo le nekoliko večje plagioklaze in magnetit.

Ti odlomki se na pogled ne razlikujejo od rogavačnega andezita, ki sestavlja preboj v Kriveljski soteski; za obe kamenini so značilni rogovačini vtrošniki ter osamljena biotitova zrna. To podobnost potrjuje tudi mikroskop-

ska preiskava, s katero smo med drugim dognali, da pripadajo plagioklazovi vtrošniki v odlomkih in v preboju kislemu labradoritu. Rogovačni andezit je torej prebil nekoliko poprej izvržen piroklastični material.

Na izdankih je tufsko vezivo tako močno preperelo, da se pod prsti drobi in ga zato pod mikroskopom nismo mogli preiskati. Megaskopsko ločimo zrnca plagioklazov, ki so povsem kaolinizirana, magnetit in številne rogovačne iveri. Tu in tam je tufska osnova svetlo rdeča.

Vulkansko brečo s sličnimi odlomki smo našli tudi na vzhodnem pobočju Tilva Njalt; njeno krovnino in talnino predstavlja sivi senonski apneni pelit. Ta breča je jugovzhodni podaljšek breče z vzhodnega pobočja Kriveljskega kamna. Brečo seče ob potoku Buzej močan prelom v smeri zahod-vzhod. Ta prelom je torej mlajši, ob njem je bil premaknjen tudi spodnjekredni apnenec Kriveljskega kamna.

Precej večje površine zavzemajo piroklastične kamenine rogovačnega andezita jugozahodno od Kriveljskega kamna. Od Tilva Njalt do Ujova reke meje na senonski peščenjak in na hidrotermalno spremenjeno cono Malega Krivelja. Od Ujova reke proti NW mejijo ti piroklastiti le na hidrotermalno spremenjeno cono in so delno tudi sami hidrotermalno spremenjeni, zato prehod med svežimi piroklastiti in spremenjeno cono ni posebno jasen. Proti zahodu jih prekrivajo timocitove piroklastične kamenine. Ker so se začele timocitove erupcije že tedaj, ko so vulkani še bruhali piroklastični material rogovačnega andezita, so se istočasno usedali odlomki rogovačnega andezita in timocita, zato je prehod ene breče v drugo postopen.

Na Barah, ob Ujova reki, ob Ilijevem potoku in na Čeretu najdemo le vulkansko brečo. V dolinici potoka, ki izvira pod ravnino Bare in se izliva v Ujova reko, pa najdemo tudi tufsko brečo, tuf in tufit. Bodisi masivni, bodisi plastoviti tuf in tufit moremo opazovati nadalje na zahodnem pobočju Tilva Njalt, kjer ju spremlja sivi apneni pelit. Tuf, tufit in pelit, ki jih sečejo poti s Kriveljskega kamna v ravnino Bare, imajo smer povprečno N 310° do 340 °W in vpadajo 55 ° do 70° SW.

Vulkanska breča rogovačnega andezita med Brezanikom in Čeretom ni tako homogena kakor v Kriveljski soteski in na zahodnem pobočju Kriveljskega kamna. Mimo odlomkov rogovačnega andezita, ki se megaskopsko precej razlikujejo med seboj, opazujemo tu in tam tudi odlomke rogovačno biotitnega andezita, orudenelega rogovačnega andezita in prav redko tudi odlomke z bakrovimi sulfidi (M. D r o v e n i k , 1966). Premeri odlomkov nihajo od nekaj cm do 1,7 m. Odlomki rogovačnega andezita se ločijo med seboj po velikosti rogovačinih vtrošnikov in po tem, da vsebujejo nekateri več vtrošnikov in manj osnove, drugi pa obratno. Poleg tega so nekateri svetlo sivi, drugi sivkasto zeleni in temno sivi. Nekatere odlomke sestavljajo celo trije različki rogovačnega andezita (sl. 11), meja med njimi je zelo ostra. Sklepamo, da so se kosi že skrepenelih predornin vgrezali v ognjišče. Ker je bila kemična sestava skrepenelih kamenin in obdajajoče talnine enaka, ni prišlo do reakcijskih procesov, vendar je okrog teh kosov talina hitreje kristalizirala.

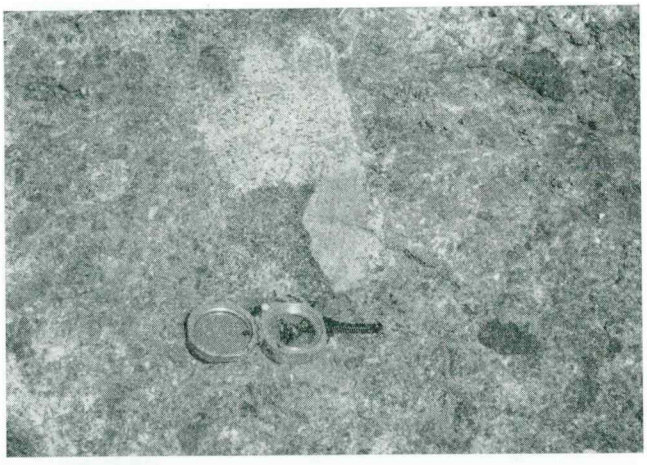
Preiskali smo številne, na oko različne odlomke in našli, da so si po sestavi glinencev in rogovač zelo podobni. Sklepamo, da izvirajo iz istega vulkanskega ognjišča, toda skrepeneli so pri različnih pogojih. Odlomki z velikimi vtrošniki rogovače in mikrokristalno osnovo kažejo, da je bila magma bogata z lahko-

hlapnimi sestavinami in da je kristalizirala počasi. Predornina z mlajšimi vtrošniki in kriptokristalno osnovo pa je skrepenela hitreje.

Odlomki rogovačnega andezita na območju Brezanik—Čeret se torej megaskopsko razlikujejo zato, ker je magma skrepenela v različnih nivojih. Šele mikroskopska raziskava kaže njihovo sorodnost.

Odlomki rogovačno biotitnega andezita nastopajo v nekoliko večjih količinah le severovzhodno od Bar, kjer smo jih našli ob poti iz Kriveljskega kamna v dolino Ujova reke. Osamljene odlomke smo opazovali tudi drugod, npr. v dolini Ujova reke.

V vulkanski breči rogovačnega andezita smo ponekod našli tudi tuf in tufit. Pogostna sta na južnem pobočju grebena Kriveljski kamen—Tilva Njalt, kjer se jima pridruži apneni pelit s foraminiferami iz rodu *Globotruncana*. Tuf, tufit in pelit imajo smer povprečno N 320° do 340° W in vpadajo proti jugovzhodu.



Sl. 11. Odlomek v vulkanski breči, sestavljen iz treh različkov rogovačnega andezita. Dolina Ujove reke
Fig. 11. Fragment from volcanic breccia showing three varieties of hornblende andesite. Ujova reka valley

Piroklastične kamenine piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega, rogovačnega in mandeljnastega piroksenovega andezita

Zahodno od Bora nahajamo vulkansko brečo zelo heterogene sestave, tu in tam pa tudi tuf in prav redko tufit. Te piroklastične kamenine grade Čoka Boruluj, Prvulovo brdo, Čoka Trnjano, Trnjano, pa tudi Balta Djoni. Od tod se širijo proti zahodu skoraj do zahodnih meja eruptivnih kamenin proti severu do Majdanpeka in proti jugu do Bučja pri Knjaževcu.

V talnini teh piroklastičnih kamenin nastopa med Brestovcem in potokom Krutome borski pelit z vmesnimi plastmi tufa in tufita. V njegovem zgornjem delu smo našli konkordantne vložke in plasti vulkanske breče z odlomki piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega, rogovač-

nega in mandeljnastega piroksenovega andezita. Te piroklastične kamenine so prvi znanilci novih erupcij; njihov material je prekril pelit. Od potoka Krutome proti severozahodu mejijo piroklastiti na timocitove piroklastične kamenine, delno pa tudi na piroklastične kamenine rogovačnega andezita.

Piroklastite območja Bor—Brestovačka banja prebijajo v obliki žil in vulkanskih žrel piroksenov, piroksenovo rogovačni, rogovačno piroksenov in rogovačni andezit. Najbolj pogostni so na Prvulovem brdu. V zahodnem delu preiskanega ozemlja prekriva te piroklastite rogovačni andezit, ki gradi Paca Mare in Tilva Miko.

Vulkanska breča

Na območju Bor—Brestovačka banja opazujemo vulkansko brečo predvsem lepo ob Borskem potoku, na vzhodnem pobočju Balta Djoni in Dosul Mare, ob progi Bor Crni vrh. ob potoku Ružanja in ob Banjski reki. Premeri njenih odlomkov nihajo od nekaj cm do 1,7 m, nad vhodom v tunel Bor—Ružanja pa smo našli celo blok s premerom 4 m. Razmerje med odlomki in osnovo je 1:2,5 do 1:4,5. Ponekod se količina drobnozrnate osnove tako poveča, da vulkanska breča preide v tufsko (sl. 12).

Sl. 12. Tufska breča. Vsek železniške proge Bor-Crni vrh
Fig. 12. Tuff breccia from the rail road cut Bor-Crni Vrh

V breči prevladujejo različni andezitski odlomki in bloki, ki ji dajejo pestrost. Poleg tega vsebuje granitoidne odlomke in kose kaoliniziranega in silificiranega andezita ter bakrovih sulfidov (M. D r o v e n i k , 1966).

Andezitski odlomki so sivi, sivkasto zeleni in temno zeleni, ponekod skoraj črni. Že megaskopsko prepoznamo porfirsko strukturo, pa tudi vtrošnike plagioklazov in femičnih komponent. Plagioklazovi vtrošniki so povečini močno kaolinizirani in le redko presežejo 3 mm. Vtrošniki femičnih komponent so navadno sveži, temno zeleni, skoraj črni. Zelo pogosto imajo idiomorfne preseke, premeri zrn pa nihajo od nekaj desetink mm do 9 mm.

Odlomki piroksenovega andezita so v breči zelo pogostni. Med vtrošniki je največ plagioklazov, ki pripadajo labradoritu in bitovnitu. Vsebina anortita niha od 53 % do 81,5 %. Modalno sestavo odlomkov piroksenovega andezita kaže tabela 7.

Piroksene zastopata dva različka: avgit in hipersten. Razmerje med njima je navadno 6:1. Ker avgita in hiperstena pri integracijski analizi nismo vselej zanesljivo ločili, smo jih integrirali skupno. Avgitovi vtrošniki so povečini idiomorfni, le kadar se združujejo v večje skupke, imajo ksenomorfne preseke. Kot potemnitve se spreminja od 41° do 44,5°, 2 V pa meri povprečno 54,5°. Tudi hiperstenova zrna imajo pravilne preseke.

Rogovačini vtrošniki nastopajo v prav majhnih količinah. Imajo jasen pleohroizem: Ng = rjava, Nm = svetlo rjava in Np = svetlo rumena barva. Kot potemnitve meri v večini primerov 13,5°. Rogovačina zrna imajo pogosto resorbirane robove; ob njih se je izločil magnetit.

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV PIROKSENOVEGA ANDEZITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF PYROXENE ANDESITE FRAGMENTS FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 7 Table 7

	1	2	3
Osnova	57,7 %	44,0 %	63,0 %
plagioklazi	24,9	37,8	22,6
pirokseni	13,9	8,5	7,5
rogovača	0,3	0,2	0,6
magnetit	3,1	3,2	3,8
apatit	0,1	sl.	0,2
kalcit	sl.	1,7	sl.
kaolin	sl.	sl.	sl.
zeoliti	sl.	4,6	2,3
kalcedon	—	sl.	—
opal	—	sl.	sl.
	100,0 %	100,0 %	100,0 %

1. Odlomek piroksenovega andezita, Ilijev potok
2. Odlomek piroksenovega andezita, Borski potok (pod jezom)
3. Odlomek piroksenovega andezita, Borski potok (nad jezom)

Idiomorfna magnetitova zrna so povsem nepravilno razporejena po površinah; značilno je, da spremljajo skupke piroksenovih zrn. Idiomorfna apatitova zrnca nastopajo v majhnih količinah.

Osnova piroksenovega andezita je pilotaksitska in hialopilitska, v njej nastopajo mikroliti plagioklazov, femičnih komponent in magnetita. Pri preperevanju so nastali kalcit, kaolin, zeoliti, kalcedon in opal.

Odlomki piroksenovega andezita vsebujejo tu in tam drobne vključke plagioklazovih in piroksenovih zrnc, ki imajo hipidiomorfno zrnato strukturo. Plagioklazi močno prevladujejo nad piroksenom, a imajo navadno ksenomorfne preseke, medtem ko so piroksenovi preseki idiomorfni.

Odlomki piroksenovo rogovačnega andezita so svetlo zeleni in temno sivkasto zeleni; vsebujejo do 8 mm velike vtrošnike piroksenov in rogovače ter majhne plagioklazove vtrošnike, ki merijo le redko več kot 2 mm.

MODALNA SESTAVA ODLOMKA PIROKSENOVO ROGOVAČNEGA ANDEZITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF PYROXENE-HORNBLENDE ANDESITE FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 8

Table 8

Osnova	57,5 %
plagioklazi	19,2
pirokseni	14,4
rogovača	7,0
magnetit	1,9
apatit	sl.
kalcit	sl.
kaolin	sl.
zeoliti	sl.
klorit	sl.
	100,0 %

Med vtrošniki prevladujejo plagioklazova zrna, velika 0,3 x 0,7 mm, ki pripadajo bazičnemu labradoritu in kislemu bitovnitu. Piroksenove vtrošnike zastopa le avgit. Njegovi vtrošniki so idiomorfni, tu in tam vsebujejo mag-

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV ROGOVAČNO PIROKSENOVEGA ANDEZITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE-PYROXENE ANDESITE FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 9

Table 9

	1	2
Osnova	60,4 %	59,6 %
plagioklazi	17,1	20,5
rogovača	13,9	12,9
pirokseni	5,0	3,1
magnetit	2,3	2,2
apatit	sl.	sl.
kalcit	1,3	1,7
zeoliti	sl.	sl.
kaolin	sl.	—
klorit	sl.	sl.
albit	sl.	—
	100,0 %	100,0 %

1. Odlomek rogovačno piroksenovega andezita, vzhodno pobočje Balta Djoni
2. Odlomek rogovačno piroksenovega andezita, zahodno pobočje Čoka Boruluj

netitove vključke. Kot potemnitve niha od 42,5° do 44,5°, kot optičnih osi 2 V = 56,5°.

Zrna rogovače imajo močno resorbirane robove, ki jih označuje magnetit. Zrna so sveža in imajo naslednji pleohroizem: Ng = temno zelena, Nm = zelena in Np = svetlo rumenkasto zelena barva. Kot potemnitve meri povprečno 14,5°. Modalno sestavo odlomka piroksenovo rogovačnega andezita iz vulkanske breče ob Borskem potoku kaže tabela 8.

V kriptokristalni osnovi zasledimo plagioklazove mikrolite, magnetitova zrnca, piroksenove in rogovačine mikrolite. Steklasti del osnove je delno že prekristaliziran.

Odlomki rogovačno piroksenovega andezita so najbolj pogostni. Od odlomkov piroksenovo rogovačnega andezita se razlikujejo po tem, da vsebujejo več rogovačinih kakor piroksenovih vtrošnikov. Oba različka sta povezana s postopnimi prehodi. Optične lastnosti vtrošnikov v obeh različkih so si močno podobne. Modalno sestavo odlomkov rogovačno piroksenovega andezita kaže tabela 9.

Odlomki rogovačnega andezita se od odlomkov rogovačno piroksenovega andezita razlikujejo le po tem, da ne vsebujejo piroksenov. Njihovo modalno sestavo kaže tabela 10.

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV ROGOVAČNEGA ANDEZITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE ANDESITE FRAGMENTS FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 10 Table 10

	1	2
Osnova	48,1 %	62,0 %
plagioklazi	35,8	25,7
rogovača	10,4	7,8
magnetit	3,5	2,4
apatit	sl.	0,1
zeoliti	sl.	2,0
klorit	2,2	sl.
kaolin	sl.	sl.
kalcedon	sl.	sl.
	100,0 %	100,0 %

1. Odlomek rogovačnega andezita, 100 m nad jezom v Borskem potoku
2. Odlomek rogovačnega andezita, jugovzhodno pobočje Čoka Pature, ob zapuščeni poti Bor—Crni vrh.

Vulkansko brečo, sestavljeno samo iz odlomkov mandeljnastega piroksenovega andezita smo našli le na vzhodnem pobočju grebena Kraku Kalafir—Kriveljski kamen. Odlomki mandeljnastega piroksenovega andezita pa nastopajo tudi v vulkanski breči in aglomeratih območja Bor—Brestovačka banja.

Plast vulkanske breče mandeljnastega piroksenovega andezita, debela povprečno 50 m, leži v apnenem pelitu, ki predstavlja krovnino timocitovih piroklastičnih kamenin kriveljskega pasu. Cesta Bor—Veliki Krivelj jo preseče

na ovinku, od koder se odpre pogled na dolino Kriveljske reke. Od tod pa do vzhodnega pobočja Kriveljskega kamna je plast zvezna, proti jugovzhodu pa se izklini. Krovnino in talnino teh piroklastičnih kamenin tvori rdeči in sivi senonski apneni pelit.

Pod mikroskopom imajo odlomki mandeljnastega piroksenovega andezita hipokristalno porfirsko strukturo. Prevladujejo vtrošniki plagioklazov, ki pripadajo bazičnemu bitovnitu. Njihova sestava se spreminja v sorazmerno ozkih mejah; z merjenji smo namreč ugotovili, da niha količina anortita v posameznih zrnih od 81,5 % do 89,5 %.

Avgitovi vtrošniki so povečini idiomorfni, imajo nežno conarno zgradbo in pogosto strukturo »peščene ure«. Pleohroizem ni izrazit. Kot potemnitve meri povprečno 44°.

Mandeljni imajo okrogle in eliptične preseke, s premerom povprečno 6 mm. Nekateri so monomineralni, drugi pa polimineralni. Sestavljajo jih zeoliti in kalcit, v manjših količinah pa tudi klorit in kalcedon. Iz močno preperelih odlomkov mandeljni izpadajo, zato so njihove površine luknjičaste in spominjajo na žlindro.

Vezivo vulkanske breče je ponekod tako preperelo, da se pod prsti drobi. Sestavljajo ga drobci plagioklazov, avgita, magnetita in andezita.

Podoben mandeljnasti piroksenov andezit je opisal M a r i č (1957). Kemična analiza vzorca kaže precejšnjo količino CaO, ki nastopa predvsem v plagioklazih, delno tudi v kalcitu mandeljnov, in malo kremenice. Izračunane Nigglijeve vrednosti govore za to, da je kamenina skrepenela iz anortozit-gabroidne magme. Vzorec je našel na vzhodnem pobočju Kriveljskega kamna, med kamnolomom in vasjo. Ker pri večkratnem podrobnem pregledu tega območja nismo našli žile ali izliva mandeljnastega andezita, sodimo, da izvira popisani vzorec iz vulkanske breče.

Odlomki mandeljnastega piroksenovega andezita v piroklastičnih kameninah zahodno od Bora se prav nič ne razlikujejo od odlomkov enakega andezita v vulkanski breči v krovnini timocitovih piroklastičnih kamenin kriveljskega pasu. Njihovo modalno sestavo kaže tabela 11.

Mandeljnasti piroksenov andezit nastopa v obliki žil ali odlomkov v piroklastitih tudi v bolgarskem Srednegorju (S c h e u m a n n in S c h ü l l e r , 1939; D i m i t r o v , 1946). Številne odlomke mandeljnastega piroksenovega andezita, katerih mandeljni sestoje iz kalcita ali iz zeolitov in klorita sem opazoval v piroklastitih zahodnega dela sofijskega Srednegorja, in sicer ob Grlenski reki (W od Breznika) in na planini Viskjar (WSW od Zlatuše).

V odlomkih hidrotermalno spremenjenih andezitov so plagioklazi močno kaolinizirani, osnova delno kaolinizirana, delno silificirana, femične komponente (rogovača ?) pa kloritizirane.

Odlomke granitoidne kamenine je podrobno preiskala K n e ž e v i ć (1967) in našla, da gre za delno prekristaljen granit.

Osnovo, v kateri nastopajo popisani odlomki in bloki, sestavlja ponekod tuf, drugod tufit. V tufski osnovi najdemo pod mikroskopom številne drobce plagioklazov, ki jih spremljajo iveri rogovače in drobci piroksenov (avgita in hiperstena), magnetita ter drobni andezitski odlomki. Plagioklazovi drobci so navadno močno prepereli (kaolinizirani ali zeolitizirani).

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV MANDELJNASTEGA PIROKSENOVEGA ANDEZITA IZ VULKANSKE BREČE

MODE COMPOSITION OF AMYGDALOIDAL PYROXENE ANDESITE FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 11 Table 11

	1	2
Osnova	51,4%	52,7%
plagioklazi	24,9	21,8
pirokseni	5,3	13,8
magnetit	1,7	3,5
apatit	0,1	0,1
zeoliti, kremen, kalcit, kalcedon, klorit, opal	16,6	8,1
kaolin	sl.	sl.
	100,0%	100,0%

1. Odlomek mandeljnastega piroksenovega andezita, Borska reka nad borskim pelitom
2. Odlomek mandeljnastega piroksenovega andezita, jugovzhodno pobočje Prvulovega brda

Nekoliko bolj sveži so plagioklazi v tufitni osnovi, ki vsebuje mimo navedenih sestavin še karbonatno vezivo. Drobci imajo različno sestavo; v istem zbrusku najdemo labradorit, bitovnit in anortit. Sestavi plagioklazov v osnovi breče in v vtrošnikih andezitskih odlomkov sta torej enaki.

Tuf in tufit

Plastoviti tuf in tufit sta zelo redka. Našli smo ju v spodnjem delu popisanih piroklastitov, tj. v krovnini borskega pelita in v pelitu samem. Poleg tega se menjavata z vulkansko brečo mandeljnastega piroksenovega andezita na vzhodnem pobočju grebena Tilva Njalt-Kraku Kalafir. Plasti tufa in tufita imajo povprečno smer N 315° do 335° W in vpadajo proti SW. Vpad se spreminja od 20° do 68°. Pod mikroskopom smo zasledili v zbruskih plastovitega tufa plagioklazove drobce in odlomke, drobce rogovače in avgita ter hiperstena in magnetita. Ob poti iz Bora na Balta Djoni smo našli v plastovitem tufu in tufitu tudi pole drobnozrnatega peščenjaka. Sestavljajo ga v glavnem kremenova zrnca, vmes pa so še zrnca mikroklina, kaolinizirana zrnca albit/oligoklaza in sveža conarna zrnca labradorita. Tu in tam zasledimo iveri kloritizirane rogovače ali lističe sericita. V peščenjaku najdemo torej zrnca, ki verjetno izvirajo z ozemlja N in NW od Bora ter zrnca z magmatskega območja (labradoritova zrnca).

Bolj pogostna sta masivna tuf in tufit, ki sta navadno bolj grobozrnata. Nastopata predvsem v krovnini borskega pelita.

Na Lozinem polju smo našli v apnenem pelitu, ki predstavlja talnino borskega peščenjaka in konglomerata, nekaj plasti tufita (dva seče pot Bor—Kraku Kalafir—Oštrelj). Mikroskopska preiskava je pokazala, da zastopajo piroklastične komponente le drobci piroksena in bazičnih plagioklazov. Ta tufit je brez dvoma časovni in snovni ekvivalent vulkanske breče mandeljnastega piroksenovega andezita ter dokazuje, da so piroklastične kamenine prekrile precej velike površine.

Masivna tuf in tufit sta močno preperela, plagioklazi so karbonatizirani, kaolinizirani in zeolitizirani, rogovača pa predvsem kloritizirana. Pirokseni in magnetit so dokaj obstojni in navadno sveži. Sekundarni minerali ne nadomeščajo le primarnih, temveč nastopajo v tufu in tufitu tudi v žilicah (zeoliti, kalcit), zelo pogosto tudi v geodah (zeoliti, kalcit, kalcedon, opal, klorit).

Piroklastične kamenine rogovačno biotitnega dacita

V Boru nahajamo dokaj debelo plast dacitovih piroklastičnih kamenin, ki jih sestavljajo breča, tuf in tufit. Te kamenine nastopajo v večji količini na južnih in zahodnih etažah površinskega kopa Čoka Dulkan, pa tudi ob Borski reki približno 200 m severozahodno od nekdanjega jeza v Bor-Selu.

Na površinskem kopu Čoka Dulkan prevladuje vulkanska breča, ki jo že po barvi ločimo od timocitove breče; je siva z zaznavnim rjavim odtenkom, medtem ko je timocitova sivkasto zelena. Mimo tega zapazimo v talnini in krovnini dacitovih piroklastitov, predvsem na južnih etažah, povprečno 1 m debelo plast rdečega apnenega pelita, ki ga spremljata tuf in tufit. Meja med timocitovimi in dacitovimi piroklastiti je zategadelj dokaj jasna.

Dacitova vulkanska breča s površinskega kopa Čoka Dulkan sestoji predvsem iz oglatih dacitovih odlomkov in blokov, ki dosežejo premer 1,6 m. V manjših količinah jih spremljajo sivi odlomki z intersertalno strukturo; med majhnimi igličastimi rogovačinimi zrni nastopajo drobna plagioklazova. Značilno je, da vsebujejo ti odlomki ponekod do 2 cm velika prizmatska zrna rogovače in biotita, do 7 mm velika zrna plagioklazov in kremen. Dokaj redko naletimo na timocitove odlomke; njihovo število se poveča šele ob krovninski plasti apnenega pelita. Osnova breče je v glavnem tufska, manj je tufita.

Dacitovi odlomki imajo enako strukturo in vsebujejo enaki femični komponenti (rogovačo in biotit) kakor timocitovi. Zato so si oboji zelo podobni. V tej podobnosti moramo iskati vzrok, da smo dacitovo vulkansko brečo zapazili šele sedaj, čeprav jo odkopavajo, sodeč po razvoju etaž, že od leta 1939.

Razen po barvi ločimo dacitove odlomke od timocitovih tudi po tem, ker vsebujejo kremen in večje plagioklazove vtrošnike. Pod mikroskopom smo našli le vtrošnike, ki smo jih videli že na oko; to so plagioklazi, rogovača, biotit in kremen, akcesorni komponenti pa sta magnetit in apatit. Struktura je porfirska, osnova pa mikrokristalna.

Le posamezna plagioklazova zrna merijo več kakor 7 mm, povprečno nihajo njihovi premeri od 1,8 × 1,1 do 2,4 × 1,4 mm. Plagioklazi so dvojčično zgrajeni in conarni, vendar zelo često okrušeni ali zdrobljeni. Zaradi preperevanja so močno kaolinizirani in karbonatizirani, zato smo dobili zanesljive

podatke le za manjše število zrn. Ugotovili smo, da se spreminja količina anortita od 45,5% do 50%, povprečno pa vsebujejo 47,5% an.

Mikrokristalno osnovo sestavljajo predvsem alotriomorfna zrnca plagioklazov in kremena. Tu in tam zasledimo nekoliko večja zrna z idiomorfnimi preseki, ki pravilno potemne. Njihov lomni količnik je nekoliko manjši od lomnega količnika kanadskega balzama; verjetno pripadajo sanidinu.

Po modalni sestavi moremo prištevati popisane odlomke k skupini rogovačno biotitnega dacita. Ti odlomki (bloki) imajo enako strukturo in sestavo kakor odlomki (bloki) z odvala površinskega kopa Čoka Dulkan v suhem koritu Borske reke (za topilnico), ki jih je popisal M a r i ć (1957). Menimo, da izvira blok, katerega sestavo in analizo najdemo pri M a r i ć u, s površinskega kopa Čoka Dulkan.

Svetlo sivih odlomkov s številnimi drobnimi igličastimi zrni rogovače, drobnimi plagioklazovimi in osamljenimi večjimi zrni rogovače, biotita in kremena nismo podrobno preiskali. Na videz so zelo podobni odlomkom v timocitovi vulkanski breči; verjetno predstavljajo prav tako nekoliko bolj bazičen različek.

Osnova dacitove vulkanske breče na površinskem kopu Čoka Dulkan je v glavnem tufska; v njej najdemo zrnca in drobce plagioklazov, rogovače, biotita, kremena in magnetita. Kjer je osnova tufitska, se pridružuje piroklastičnim drobcem pelit, zato je tam osnova svetlo rdeča.

Dacitov tuf nastopa v spodnjem in zgornjem delu plasti piroklastičnih kamenin rogovačnega dacita; ponekod je masiven drugod plastovit. V njem najdemo iste sestavine kakor v tufski osnovi.

Drugi izdanek piroklastičnih kamenin rogovačno biotitnega dacita sem našel ob Borski reki, nedaleč od nekdanjega jeza v Bor-Selu. Ker vsebuje krovninska timocitova breča dacitove odlomke, sklepamo, da je položaj dacitovih piroklastičnih kamenin v timocitovih enak kot na površinskem kopu. Ti dacitovi piroklastiti predstavljajo torej le severozahodni podaljšek tistih s površinskega kopa. Med Čoka Dulkanom in omenjenim izdankom so bile timocitove piroklastične kamenine skupaj z borskim pelitom, tufom in tufitom pogreznjene, enako seveda tudi dacitove piroklastične kamenine. Zato jih v tem delu Bor-Sela nismo našli.

Tudi v izdanku ob Borski reki prevladuje vulkanska breča. Njeni dacitovi odlomki dosežejo velikost 1,5 × 0,75 m, povprečno pa so veliki 20 do 40 cm. Vezivo je tufsko in tufitno, le v vzhodnem delu izdanka veže dacitove odlomke rdeči apneni pelit. Pod mikroskopom najdemo v pelitu poleg klastičnih kamenin tudi ostroroba zrnca plagioklazov, rogovače, kremena in biotita. Fosilni ostanki foraminifer iz rodu *Globotruncana* so dokaj pogostni.

Rdeči apneni pelit ne nastopa le v vezivu tufitne breče, temveč tvori v njej tudi številne tanke plasti.

Posebno zanimiv je vzhodni del izdanka, kjer smo našli v tufitni breči plasti rdečega pelita, pa tudi tufa in tufita. Na razdalji manj kot tri metre vidimo zvezni prehod naslednjega zaporedja: rdeči apneni pelit-tufit-tuf-tufska breča-tuf-tufit-rdeči apneni pelit-tufitna breča. Alternacija vulkanske, tufske in tufitne breče s tufom, tufitom in apnenim pelitom dokazuje, da so te kamenine nastale pri zaporednih erupcijah. Zvezni prehod kaže, da ne gre za

dacitne preboje v pelitu, kot je opisal M a r i ć (1957), temveč za singenetske tvorbe.

Piroklastične kamenine rogovačnega dacita

Kot večji del piroklastičnih kamenin v širši okolici Bora so tudi piroklastične kamenine rogovačnega dacita na območju Bele vode—Rudjina Banjica v literaturi povsem neznane. Čeprav gre za brečo, tuf in tufit, so jih doslej označevali kot andezit, ki mu je V. K. P e t k o v i ć (1935) pripisal terciarno starost. Ta andezit naj bi bil del predornin, ki so razbile rtanjsko-kučajski in tupižniški nariv.

Piroklastične kamenine rogovačnega dacita sestoje iz vulkanske breče in aglomerata, ki ju spremljajo debele plasti tufa, tufita, tu in tam tudi tufskega peščenjaka in peščenjaka. Plasti tufa, tufita in peščenjaka imajo smer NW—SE in vpadajo v zahodnem delu povprečno 35° proti SW, v vzhodnem pa 25° do 30° proti NE. Te piroklastične kamenine meje proti SW z močnim reverznim prelomom najprej (od NW proti SE) na paleozojski skrilavec in jurski apnenec, nato pa na senonski peščenjak. Tudi njihova vzhodna meja je tektonska; močan prelom, ob katerem nastopa tu in tam tudi hercinski granit, jih loči od jurskega apnenca Malega krša.

Dokaj velik del piroklastitov prekriva kredni apnenec, ki predstavlja podaljšek grebena Velikega krša. Meje med apnenčevimi krpami in piroklastiti so tam, kjer smo jih mogli opazovati, tektonske. Značilno je, da smo našli na celotnem območju le dva preboja piroksenovo biotitnega andezita.

Vulkansko brečo in aglomerat rogovačnega dacita lepo opazujemo ob levih pritokih Kriveljske reke. Sestojita iz predorninskih odlomkov in drobnozrnatega tufskega ali tufitnega veziva.

Odlomki so sivi, sivo zeleni pa tudi zeleni in merijo povprečno 20 do 40 cm. Bloki s premeri nad 1 m so redki. Dacitovo porfirsko strukturo poudarjajo plagioklazovi in rogovačini vtrošniki; prvi so beli, imajo steklen sijaj in dosežejo premer 1,6 cm, drugi pa temno zeleni in veliki največ 9 mm. Brez povečave najdemo v številnih kosih še majhna zrna biotita, z lupo pa tudi zrnca kremena. Pod mikroskopom vidimo poleg tega piroksenova, magnetitova in apatitova zrnca, ki nastopajo v majhnih količinah. Osnova je povečini kriptokristalna, v nekaterih odlomkih celo mikrokristalna. Tudi tekstura ni povsod enaka; nastopajo odlomki s homogeno in fluidalno teksturo.

Breča je močno razširjena v okolici Rudjine Banjice. Številne sveže kose smo našli predvsem na pobočju in grebenu, po katerem se vzpenja pot v Vidzurin.

Integracijska analiza vzorcev z grebena vzhodno od Rudjine Banjice kaže, da med vtrošniki močno prevladujejo plagioklazova zrna (tabela 12), ki merijo navadno 3 × 1 mm. Nekatera so zdrobljena ali okrušena, vendar so najbolj pogostna zrna z idiomorfnimi preseki. Plagioklazi so dvojčični (enostavni dvojčki so številnejši kakor sestavljeni) in conarni. Merjenja s Fedorovo mizico so pokazala, da niha količina anortita od 43,5 % do 48 %, povečini po vsebujejo plagioklazovi vtrošniki okrog 45% an.

MODALNA SESTAVA ODLOMKOV ROGOVAČNEGA DACITA V VULKANSKI BREČI

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE DACITE FRAGMENTS FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 12 Table 12

	1	2	3	4	5
Osnova	56,9%	63,3%	52,7%	51,7%	55,5%
plagioklazi	30,3	22,6	33,8	34,4	30,9
kremen	0,6	0,1	0,4	0,3	0,5
biotit	0,2	0,1	0,3	—	0,3
rogovača	9,7	12,7	10,1	11,1	10,1
avgit	0,6	—	sl.	0,6	0,1
magnetit	0,9	1,0	1,9	1,8	1,5
apatit	—	—	—	0,1	—
zeoliti, klorit, kalcit	0,8	0,2	0,8	—	1,1
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

1. rogovačni dacit, odlomek iz breče, greben E od Rudjine Banjice (kemična analiza na tebeli 13)
2. rogovačni dacit, odlomek iz breče, greben E od Rudjine Banjice
3. rogovačni dacit, odlomek iz breče, vzhodno vznožje Tilva Bajkuli
4. rogovačni dacit, odlomek iz breče, zahodno pobočje Šareta
5. rogovačni dacit, odlomek iz breče, vzhodno pobočje Velikega krša (ob poti Krivelj—Gornjane).

Kremenova zrnca nastopajo v vseh zbruskih v majhnih količinah in dosežejo premer 1 mm. Večidel so zaobljena.

Rogovača je edina femična komponenta, ki nastopa v večji količini. Velikost njenih zrn se postopoma zmanjšuje do mikrolitov v osnovi. Pleohroizem se spreminja od temno rjavo zelene (Ng) do svetlo rumene (Np) barve. Ob robovih zrn in vzdolž razkolnosti jo tu in tam nadomešča klorit. Kot potemnitve meri povprečno 16°.

Avgit in biotit najdemo le v osamljenih zrnih. Prva dosežejo premer 0,4 × 0,4 mm, kot Ng [001] meri povprečno 44,5°, pleohroizem ni izrazit. Biotitova zrna so sicer večja, a so močno kloritizirana. Tu in tam zasledimo v njih plagioklazova zrna.

Iz dobljenih podatkov izračunane količine anortita so: 41,5 % (CIPW), 35 % (Niggli 1 in 2, spojine *Fo* je premalo, da bi mogli izračunati tudi Niggli 3), 35 % an (Barth). Barvni indeks je: 14,6 (CIPW), 13,9 (Niggli 1), 14,5 (Niggli 2) in 17,8 (Barth).

Nigglijeve vrednosti te kamenine se močno približujejo Nigglijevim vrednostim za dacite v širši okolici Bora in so skoraj enake tistim, ki jih je dobil M a r i ć (1957) za biotitno rogovačni dacit v bližini Borskega potoka. Kamenina z Rudjine Banjice vsebuje le malo kremenovih vtrošnikov (0,6 %); zato jo na podlagi mikroskopske analize le stežka prištevamo k dacitom. Njena količina SiO_2 (kamenina je povsem sveža — obogatitev s sekundarnim kremenom torej

ODLOMEK ROGOVAČNEGA DACITA V VULKANSKI BREČI Z GREBENA VZHODNO OD RUDJINE BANJICE

HORNBLENDE DACITE FRAGMENT FROM VOLCANIC BRECCIA FOUND ON THE CREST EAST OF RUDJINA BANJICA

Tabela 13 Table 13

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Barth
SiO_2	63,10 %	Q	18,5	20,9	20,4	17,4
TiO_2	0,52	or, Or	15,1	15,1	15,0	14,5
Al_2O_3	16,41	ab, Ab	30,4	32,5	32,5	32,5
Fe_2O_3	3,09	an, An	21,4	17,6	17,6	17,5
FeO	2,27	C	—	—	—	0,3
MnO	0,09	di, Di	4,9	—	0,8	—
MgO	2,17	hy, Hy	4,1	1,5	1,5	2,0
CaO	5,67	En	—	6,0	—	—
Na_2O	3,61	Wo	—	2,5	—	—
K_2O	2,51	Ho	—	—	3,0	11,4
P_2O_5	0,20	Bi	—	—	0,3	0,6
S	0,01	mt, Mt	4,4	3,2	3,2	3,5
H_2O+	0,38	il, Ru	0,9	0,4	0,4	—
$H_2O—$	0,22	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3
CO_2	0,15					
	100,40 %		100,0	100,0	100,0	100,0

Nigglijeve vrednosti so:

si	223	ti	1,2
al	34,1	p	0,2
fm	26,4	k	0,32
c	21,6	mg	0,43
alk	17,9	π	0,31
		γ	0,15
		qz	+52

Tip magme: kremenovo dioritni
(kremenovo dioritni)
CIPW II. 4. 3. 4.

ne pride v poštev) se izmed vseh do sedaj analiziranih predornin iz okolice Bora najbolj približuje povprečju, ki ga podaja Barth (1952) za dacite (65,68 %). Če upoštevamo poleg tega, da pripada ta predornina kremenovo-dioritnemu tipu magme, smo jo upravičeni imenovati rogovačni dacit. Značilno je nadalje, da barvni indeks ni velik; le malo odstopa od izvirnega Stachejevega dacita iz Sedmograške (Tröger, 1935). Podrobno bomo opisali še tri vzorce rogovačnega dacita, ki smo jih tudi kemično analizirali.

Na vzhodnem vznožju Tilva Bajkuli ob cesti iz doline Kriveljske reke v Bučje smo našli golice breče s številnimi predorninskimi kosi. Med vtrošniki prevladujejo zrna plagioklazov, manj je rogovače, biotitova zrnca pa so zelo redka. Z lupo zasledimo še manjša kremenova zrnca, pod mikroskopom pa zrnca piroksena, magnetita in apatita. Osnova je kriptokristalna ali mikrokristalna.

Plagioklazova zrna so povprečno velika 2,5 x 1,5 mm, dosežejo pa tudi premere 6 do 8 mm. Skoraj vsa so conarna (tabla II, sl. 1). Številna zrna smo

optično podrobno preiskali in našli, da pripadajo andezinu, ki vsebuje od 42,5 do 47,5 % an.

Mikrokristalno osnovo sestavljajo predvsem zrnca plagioklazov, ki imajo nekoliko manjši lomni količnik kakor kanadski balzam in verjetno pripadajo oligoklazu. Mimo njih zasledimo nekoliko večja zrnca s pravilno potemnitvijo, katerih relief je tudi negativen; najbrž predstavljajo sanidin. Drugih komponent nismo prepoznali, ker je največji del osnove zelo drobnozrnat. Kemično analizo odlomka rogovačnega dacita z vzhodnega vznožja Tilva Bajkuli kaže tabela 14.

ODLOMEK ROGOVAČNEGA DACITA V VULKANSKI BREČI

HORNBLENDE DACITE FRAGMENT FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 14 Table 14

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	2	Barth
SiO_2	61,16 %	Q	17,0%	16,2%	15,8%	16,9%
TiO_2	0,62	or, Or	14,5	14,6	14,5	14,0
Al_2O_3	15,85	ab, Ab	30,4	31,5	31,5	32,5
Fe_2O_3	3,87	an, An	20,6	20,5	20,5	17,5
FeO	2,33	C	—	—	—	0,1
MnO	0,09	En	—	6,8	—	—
MgO	2,41	Wo	—	4,7	—	—
CaO	6,21	di, Di	7,7	—	3,7	2,4
Na_2O	3,54	hy, Hy	2,7	1,6	0,6	0,8
K_2O	2,37	Ho	—	—	7,0	10,5
P_2O_5	0,17	Bi	—	—	0,3	0,6
S	0,01	Hdb	—	—	2,0	—
H_2O^+	0,82	mt, Mt	5,6	3,5	3,5	4,4
H_2O^-	0,34	il, Ru	1,2	0,4	0,4	—
CO_2	0,18	ap, Cp	0,3	0,2	0,2	0,3
	99,97 %		100,0%	100,0%	100,0%	100.0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	208	ti	1,6
al	31,7	p	0,2
fm	28,8	mg	0,44
c	22,7	k	0,31
alk	16,8	π	0,31
		γ	0,23
		qz	+41

Tip magme: Kremenovo dioritni (kremenovo dioritni — peleeitni) CIPW II. 4. 3. 4.

Po podatkih analize vsebujejo plagioklazi: 40 % (CIPW), 39,5 % (Niggli 1 in 2; Niggli 3 zaradi premajhne količine *Fo* nismo mogli izračunati) in 35 % an (Barth). Barvni indeks niha takole: 17,5 (CIPW), 17,2 (Niggli 1), 17,7 (Niggli 2) in 19,0 (Barth).

Nigglijeve vrednosti te kamenine se le malo razlikujejo od vrednosti, ki smo jih dobili za odlomek rogovačnega dacita iz okolice Rudjine Banjice. Manj-

ša odstopanja kažejo le vrednosti *si, qz* in *al* (za to kamenino so nekoliko manjše). Kemizem govori za kremenovo dioritni tip magme, vendar se glede na manjši odstotek kremenice že približuje peleeitnemu. Mineraloška in kemična sestava dovoljujeta, da imenujemo tudi to kamenino rogovačni dacit.

Zelo podobne rezultate je dala raziskava vzorca z zahodnega pobočja Šareta, kar kažeta modalna sestava (tabela 12) in kemična analiza (tabela 15).

ODLOMEK ROGOVAČNEGA DACITA V VULKANSKI BREČI

HORNBLENDE DACITE FRAGMENT FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 15 Table 15

Kemična analiza Chemical analysis			Niggli CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Barth
SiO_2	61,91 %	Q	15,4 %	13,6 %	13,1 %	14,1 %
TiO_2	0,57	or, Or	18,5	19,0	19,0	18,5
Al_2O_3	16,35	ab, Ab	31,9	33,8	33,8	34,0
Fe_2O_3	2,99	an, An	19,0	19,0	19,0	15,5
FeO	2,37	En	—	5,9	—	—
MnO	0,08	Wo	—	3,2	—	—
MgO	2,11	di, Di	3,4	—	2,8	—
CaO	5,41	hy, Hy	5,9	1,7	1,7	2,2
Na_2O	3,77	Ho	—	—	6,8	11,8
K_2O	3,02	mt, Mt	4,4	3,1	3,1	3,6
P_2O_5	0,18	il, Ru	1,2	0,4	0,4	—
S	0,01	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3
H_2O^+	0,93		100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
H_2O^-	0,38					
CO_2	0,33					
	100,41 %					

Nigglijeve vrednosti so:

si	218	ti	1,7
al	33,8	p	0,21
fm	26,2	mg	0,43
c	20,3	k	0,34
alk	19,7	π	0,27
		γ	0,19
		qz	+40

Tip magme: kremenovo dioritni (kremenovo-dioritni)
CIPW II. 4. 3. 4.

Normativne in modalne vrednosti anortita so: 37 % (CIPW), 36 % (Niggli 1 in 2; zaradi premajhne količine *Fo* vrednosti Niggli 3 nismo mogli izračunati) in 32 % (Barth). Ustrezni barvni indeksi so: 15,2 (CIPW), 14,6 (Niggli 1), 15,1 (Niggli 2) in 17,9 (Barth). Količina *Ho,* ki jo dobimo s preračunavanjem po Nigglij u, je dokaj majhna, zato pa dobimo po Barthu enako vrednost *Ho,* kakor smo jo izmerili z integracijsko mizico.

Končno smo preiskali tudi odlomke iz vulkanske breče na vzhodnem pobočju Velikega krša. Sivi in sivo zeleni odlomki pripadajo rogovačnemu dacitu. Le sorazmerno večji plagioklazovi in nekoliko manjši rogovačini vtrošniki na-

stopajo v večji količini. Že na noko, predvsem pa pod mikroskopom zasledimo tudi zrnca biotita, kremena in piroksena, ter zrnca magnetita in apatita. Osnova je mikrokristalna ali kriptokristalna.

Povprečen vzorec predstavlja odlomek, ki smo ga vzeli ob poti Veliki Krivelj—Gornjane. Plagioklazova zrna so sveža in vsebujejo 40 do 50% an. Modalno sestavo podajamo v tabeli 12, kemično analizo pa v tabeli 16.

Osnova odlomka je zelo drobnozrnata, zato njenih sestavin nismo mogli zanesljivo določiti. Sekundarni minerali, nastali pri preperevanju, so zeolit, kalcit in klorit v podrejenih količinah.

ODLOMEK ROGOVAČNEGA DACITA V VULKANSKI BREČI

HORNBLENDE DACITE FRAGMENT FROM VOLCANIC BRECCIA

Tabela 16 Table 16

Kemična analiza Chemical analysis Niggli			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Barth
		Q	20,8%	18,8%	18,6%	20,0%
SiO_2	61,86 %	or, Or	11,1	11,3	10,8	11,0
TiO_2	0,67	ab, Ab	27,3	29,7	29,7	29,1
Al_2O_3	15,80	an, An	23,7	24,3	24,3	20,0
Fe_2O_3	3,60	En	—	6,8	—	—
FeO	2,57	di, Di	6,1	—	2,4	—
MnO	0,06	hy, Hy	4,2	2,7	2,7	2,6
MgO	2,48	Wo	—	3,2	—	—
CaO	6,46	Ho	—	—	7,5	12,1
Na_2O	3,21	Bi	—	—	0,8	0,6
K_2O	1,90	mt, Mt	5,3	2,6	2,6	4,3
P_2O_5	0,18	il, Ru	1,2	0,4	0,4	—
S	0,01	ap, Cp	0,3	0,2	0,2	0,3
H_2O+	0,84		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
H_2O-	0,47					
CO_2	0.18					
	100,29 %					

Nigglijeve vrednosti so:

si	213	ti	1,6
al	32,0	p	0,2
fm	29,6	mg	0,42
c	23,7	k	0,28
alk	14,7	π	0,37
		γ	0,18
		qz	+54

Tip magme: Kremenovo dioritni (kremenovo dioritni)
CIPW II. 4. 3. 3.

Iz podatkov kemične analize izračunane vrednosti anortita so: 46,5 % (CIPW), 45 % (Niggli 1 in 2, podatkov za Niggli 3 nismo mogli izračunati, ker je bilo premalo *Fo)* in 40,5 % an (Barth). Barvni indeks se glede na različen način preračunavanja spreminja takole: 17,1 (CIPW), 15,9 (Niggli 1), 16,6 (Niggli

2) in 19,9 (Barth). Mineralna sestava in kemična analiza tudi v tem primeru dokazujeta, da gre za rogovačni dacit.

Poleg dacitnih odlomkov vsebuje vulkanska breča rogovačnega dacita tudi malo odlomkov rogovačnega andezita.

Vulkanska breča na območju Bele vode—Rudjina Banjica, na severovzhodnem pobočju Gurgule in nad Todorovim potokom ima v glavnem tufsko, tu in tam tudi tufitno vezivo. Sestavljajo ga različno veliki ostrorobi plagioklazovi odlomki, rogovačine iveri, okrušena plagioklazova in rogovačina zrna, v manjših količinah pa magnetitova zrnca, lističi biotita ter zrnca piroksena in kremena. Vse te komponente so piroklastičnega izvora, le kalcit, ki se pojavi tu in tam v večji količini, je kemični sediment. Tuf in tufit pa nahajamo tudi v plasteh, vloženih med vulkansko brečo, npr. v okolici Rudjine Banjice, na zahodnih pobočjih Tilva Bajkuli in Šareta, ob poti z Velikega Krivelja v Bučje, na vzhodnem pobočju Velikega krša, ob poti Bele vode—Bučje in južno od Bučja.

Merjenja s Fedorovo mizico so pokazala, da pripadajo plagioklazi v tufu andezinu; vsebujejo 40,5 do 52 % an, torej enako kot plagioklazovi vtrošniki v rogovačnem dacitu. Gre torej za tuf rogovačnega dacita.

Tuf vsebuje pogosto vložke, pole in plasti tufita. Ker ima tufit karbonatno vezivo, je proti preperevanju odpornejši in navadno štrli iz tufa. Posebno velike površine pripadajo tufitu na območju Kornjet al Mare in Kornjet Petko—Bučje. Tufit sestavlja največji del vzpetine južno od vasi Bučje.

Enako kakor tuf je tudi tufit debelozrnat, srednjezrnat in drobnozrnat. Poleg ostrorobih drobcev plagioklazov, rogovače, magnetita, piroksena in kremena, ki so piroklastičnega izvora, vsebuje tudi zaobljena zrna paleozojskih skrilavcev, kremena, epidota in rutila, prinesena brez dvoma z ozemlja N in NW od Bučja, kar dokazuje tudi navzočnost muskovita.

Merjenja so pokazala, da imajo plagioklazi v tufitu enako sestavo kakor v tufu in v odlomkih rogovačnega dacita vulkanske breče.

V tufitu so pogostni ostanki mikroflore in mikrofavne. Kochansky-Devidé (1958) je določila ostanke rdečih alg iz družine Melobesiae, ki pripadajo večidel rodovoma *Lithothamnium* in *Lithophyllum,* pa tudi vrsti *Archaeolithothamnium gosaviense* (Rothpletz). Poleg tega je našla briozoje, razne foraminifere *(Bolivina, Orbitoides)* in Hexacorallae. Po mikrofavni je pripisala tem usedlinam zgornjekredno starost, bolj verjetno senonsko ali turonsko kot cenomansko.

Tuf in tufit na območju Rudjina Banjica—Vidzurin spremlja sivi, sivo rjavi in sivo zeleni peščenjak, ki ga sestavljajo zrnca kremena, plagioklazov (ponekod svežih, drugod močno kaoliniziranih), paleozojskih skrilavcev, mikroklina, rogovače, magnetita, piroksena, andezitov, lističi muskovita in biotita. Vezivo je karbonatno. Tu in tam vsebuje peščenjak tudi glavkonit. Zaobljena, sveža in conarna plagioklazova zrna dokazujejo, da je erozija že v času erupcij načela predornine, ali pa so površinske vode nosile v morje piroklastični material; v zadnjem primeru bi morali obstajati tudi kontinentalni vulkani.

Medtem ko vsi drugi piroklastiti vsebujejo vložke pelitskih usedlin, nastopajo v piroklastitih rogovačnega dacita na območju Bele vode—Rudjina Banjica psamiti. To kaže, da so se piroklastiti rogovačnega dacita usedali bliže obali.

Pri raziskavah v okolici Bora smo opazili naslednje značilnosti:

1. Na tem območju piroklastične kamenine močno prevladujejo nad predorninami. To kaže na izrazito ekstruzivno vulkansko delovanje.

2. Nikjer nismo našli vulkanskih bomb s skorjasto površino in z značilno vretenasto obliko. Odlomki v breči so v glavnem oglati, le redko zaobljeni. Vtrošniki so pogosto okrušeni in zdrobljeni. Osnova je hialopilitska, pilotaksitska, kriptokristalna, v nekaterih odlomkih tudi mikrokristalna.

3. Vulkanska breča ima dokaj homogeno sestavo. Mimo andezitskih in dacitskih odlomkov skoraj ne najdemo drugih kamenin. Izjema je breča zahodno od Bora (območje Bor—Brestovačka banja), ki vsebuje poleg predorninskih odlomkov tudi kose granitoidnih kamenin paleozojske osnove.

4. Interkalacije pelitskih usedlin v piroklastitih in postopni prehodi, ki povezujejo obe vrsti kamenin, dokazujejo, da so nastajali peliti in piroklastiti v istem časovnem obdobju, kakor tudi to, da so piroklastične kamenine produkt podmorskih vulkanskih erupcij. Značilno pa je, da nismo našli niti lavinih potokov niti tako imenovanih lav »pillow«, ki često nastanejo pri podmorskih erupcijah. Le tu in tam se je izlivala iz vulkanov zelo viskozna, že skoraj skrepenela lava (Paca Mare).

Po vsem navedenem sodimo, da je magma skrepenela najbolj pogosto že v vulkanskih kraterjih. Tu je prišlo ponekod do hidrotermalne metamorfoze in orudenenja z bakrovimi minerali, kar dokazujejo orudeni andezitski odlomki kakor tudi kosi masivne bakrove rude, ki jih najdemo tu in tam v vulkanski breči (M. Drovenik, 1966).

Skrepeneli andeziti so bili nato v kraterju zaradi plinskih erupcij zdrobljeni, nakar so bili njihovi bloki in odlomki skupaj z ogromnimi količinami drobnega piroklastičnega materiala izvrženi v morje. Takšno vulkansko delovanje, ko se lava sploh ne izliva (ali se izliva v zelo omejenem obsegu), temveč so izvrženi le deli skrepenelih predornin, je po De Lacroixu (1908) značilno za vulkane peleejskega tipa, Mercalli (1907) pa meni, da je to vulkanska dejavnost ultra vulkanskega tipa.

Borski konglomerat

Greben med dolinama Borske reke in Kriveljske reke gradita konglomerat in peščenjak. Ker prevladuje konglomerat, ki so ga najprej našli v okolici Bora, se je udomačilo zanj ime borski konglomerat.

Razmerje med konglomeratom in peščenjakom je približno 3:1. Peščenjak leži v spodnjem in zgornjem delu ter je navadno ploščast; plastovitost je lepo izražena, ponekod je navzkrižna. Konglomerat je masiven. Za te klastite so značilni nagli prehodi psefitskih usedlin v psamitske in obratno. Tudi velikost prodnikov se spreminja na majhne razdalje; prodniki merijo povprečno 3 do 15 cm, dosežejo pa tudi 40 cm. V spodnjem delu serije smo našli ponekod bloke apnenca, ki dosežejo 2 m^3.

Borski konglomerat se razteza v povprečno 700 m širokem pasu od potoka Buzej pri Velikem Krivelju do vzhodnega pobočja Lozinega polja. Tam, kjer se izliva v Borsko reko potok Fontin, je konglomerat premaknjen proti zahodu. Sledimo mu od postajališča Brestovac proti SE do 20 km oddaljene vasice Metovnica. Mimo tega smo našli borski konglomerat tudi jugozahodno od Čoka

Robule; tamkaj se širi ob Slatinski reki do vasice Slatina, kjer tone pod miocen. Konglomerat in peščenjak imata povprečno smer N 330° W ter vpadata proti SW. Vpad se spreminja na izdankih na vzhodnih pobočjih Tilva Njalt, Kraku Kalafir, Kulmee in Lozinega polja od 42° do 65°, na izdankih zahodnega pobočja Kraku Kalafir ter Kulmee pa niha vpad od 59° do 80°. Zaradi mlajše tektonike so meje borskega konglomerata z drugimi kameninami često tektonske. Tako meji z reverznim prelomom na spodnjekredni apnenec Kriveljskega kamna, dacit, timocit in na hidrotermalno spremenjeno cono, v kateri leže rudna telesa. Isti prelom najdemo v zgornjem delu teh usedlin med Brestovcem in Metovnico. Borski konglomerat med Čoka Robulo in Slatino je ujet med dva preloma, ki imata smer NW—SE. Njegove severozahodne in jugozahodne meje tvorijo vselej mlajši prelomi s smerjo WSW—ENE,

Mišljenja o starosti borskega konglomerata so deljena; ker usedline ne vsebujejo fosilov, določujejo nekateri geologi njihovo starost po sestavi prodnikov, ki pa je zelo pestra. Prodniki sestoje namreč iz kamenin gornjanskobeloreškega kristalinika, iz mezozojskih usedlin vzhodnega robu magmatskega območja, pa tudi iz magmatskih in sedimentnih kamenin širše okolice Bora.

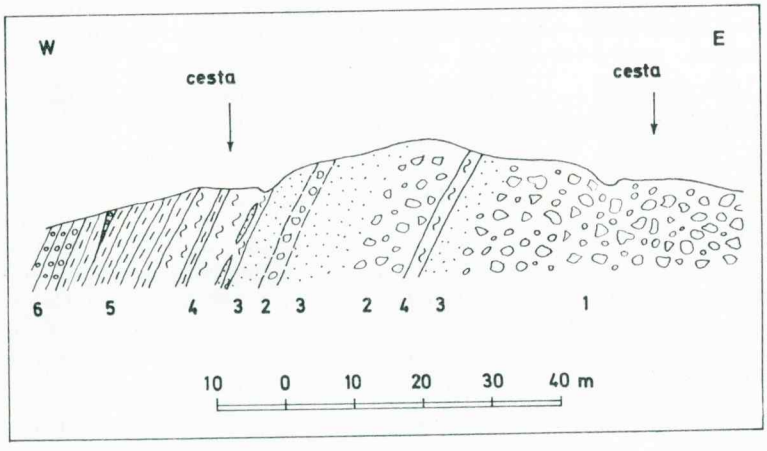
K. V. Petković (1930), je menil, da so nastale te usedline pri podmorskih vulkanskih erupcijah, ter jih je imenoval vulkanske konglomerate in breče. Clar (1946) je govoril že o klastičnih usedlinah; primerjal jih je z eocenskim konglomeratom v okolici Gabrova v Bolgariji in tudi konglomeratu in peščenjaku v okolici Bora pripisal eocensko starost. Po sestavi prodnikov sva sklepala s F. Drovenikom (1956), da je borski konglomerat najbolj verjetno eocenske starosti. Milovanović ga je uvrstil v senon (pri Cissarzu, 1956), Marič (1957) pa v oligo-miocen.

Pri kartiranju sem raziskal sestavo prodnikov konglomerata, ki se širi od potoka Buzej do Lozinega polja. Mimo že prej znanih prodnikov sem našel še prodnike rogovačno biotitnega andezita, njegovega različka timocita in prodnike mandeljnastega piroksenovega andezita. Zato sem sklepal, da je borski konglomerat nastal po vulkanski fazi, v kateri sta skrepenela timocit in mandeljnasti piroksenov andezit.

Da bi nadrobneje določil položaj borskega konglomerata v stratigrafski lestvici vulkanogenih in sedimentnih tvorb širše okolice Bora, sem raziskal njegov stik s talninskimi piroklastičnimi kameninami. Na številnih krajih, predvsem ob bližnjici Tilva Njalt—Veliki Krivelj, ob bližnjici površinski kop—Kulmea—Selište ter na grebenu Kraku Kalafir sem našel postopen prehod timocitovih piroklastičnih kamenin v borski konglomerat. Najbolj zanimiv profil je na grebenu Kraku Kalafir, in sicer prav na ostrem ovinku ceste Bor—Veliki Krivelj, kjer se odpre pogled na dolino Kriveljske reke. Pri rekonstrukciji stare ceste so v letih 1958/59 ta ovinek razširili ter napravili nov izkop, kjer sem opazoval naslednje zaporedje plasti: v krovnini timocitove vulkanske breče leži tanjša plast tufa, ki prehaja v tufit in ta v rdeči apneni pelit (slika 13). Nad rdečim pelitom je sivi pelit, ki predstavlja talnino vulkanske breče mandeljnastega piroksenovega andezita. Vulkanska breča prehaja v tuf, ta pa postopoma v rdeči in nato sivi apneni pelit. Blizu stika vsebuje pelit več tufskih in tufitnih vložkov, kmalu pa opazimo že prve pole peščenjaka, v katerih zasledimo na oko le sericit. V pelitu najdemo nato vedno več psamitskih komponent; pelit prehaja po nekaj metrih v peščenjak. Ta je najprej drobnozrnat,

nato se premer zrnc postopoma povečuje, tako da peščenjak prehaja v konglomerat. Sestava peščenjakovih pol v apnenem pelitu in sestava peščenjaka, ki prekriva apneni pelit, sta povsem enaki. Pod mikroskopom najdemo poleg sericita predvsem številna zrnca kremena, plagioklazov (prevladujejo sveža, conarna zrna andezita in labradorita, nastopajo pa tudi sericitizirana in kaolinizirana zrna oligoklaza), ortoklaza, mikroklina, rogovače, biotita, avgita, magnetita, tremolita, nadalje drobce različnih andezitov, kvarcita, drobce skrilavcev in drugih kamenin. Vpad tufa, tufita, apnenega pelita in peščenjaka je enak. Vse to dokazuje, da predstavlja borski konglomerat le poseben facies zgornjekrednih, najbolj verjetno senonskih usedlin.

Z zgornjekredno starostjo borskega konglomerata pa se ne strinja B o g d a n o v i ć (1965). Proti zgornjekredni starosti naj bi govorili transgresivno diskordantni položaj konglomerata na pelitu ter prodniki in bloki maastrichtskega rudistnega apnenca pa tudi prodniki laramijskega kremenovega dioritovega porfirja, ki jih je našel v konglomeratu. Zato sodi, da je konglomerat pokredni, najbolj verjetno zgornjeeocenski. Žal B o g d a n o v i ć ne navaja točno krajev, kjer naj bi bil opazil transgresivni položaj konglomerata na senonskem apnenem pelitu, zato njegovih trditev ni mogoče preveriti. Po



Sl. 13. Geološki presek na ovinku ceste Bor—Veliki Krivelj
Fig. 13. Geologic section at the curve of the road Bor—Veliki Krivelj

1. Timocitova vulkanska breča
   Timocite volcanic breccia
2. Vulkanska breča mandeljnastega piroksenovega andezita
   Volcanic breccia of amygdaloidal pyroxene andesite
3. Tuf in tufit
   Tuff and tuffite
4. Rdeči in sivi apneni pelit
   Red and gray calcareous pelite
5. Peščenjak
   Sandstone
6. Konglomerat
   Conglomerate

Bogdanoviću naj bi bil ugotovil diskordantni položaj borskega konglomerata tudi M. Jovanović pri kartiranju tunela za odvodnjavanje Borske reke, ki je položen pod Kulmeo. Tudi tega podatka sedaj ni mogoče preveriti, ker je tunel permaniziran. Toda geološka karta M. Jovanovića, ki sem jo dobil na vpogled v Geološki službi rudnika, ne kaže transgresivne diskordance, temveč postopen prehod, kar sem že nekaj let prej ugotovil na površju. Prav tako menim, da tudi prodniki senonskega pelita (koniacij-kampanij) ter rudistnega apnenca (maastricht) ne dokazujejo postkredne starosti konglomerata. Senonski pelit leži v neposredni talnini konglomerata, rudistni apnenec pa je tvoril v senonskem morju grebenske usedline. Pri dviganju obale je konec senona zajela erozija poleg piroklastitov tudi pelit in rudistni apnenec ter ju prinesla v nastajajoč konglomerat. Za kratek transport rudistnega apnenca govori tudi dejstvo, da ga najdemo v blokih, ki dosežejo 2 m^3.

Seveda pa obstoja možnost, da konglomerat ni nastajal le v zgornjem senonu, temveč delno tudi v daniju. To možnost zagovarja v zadnjem času Nikolić (1967, 1968). Pri raziskavi stika borskega konglomerata in talninskih piroklastičnih kamenin je na vzhodnem pobočju Kulmee namreč tudi on našel postopen prehod. M. Petković pa je v apnenem pelitu določil mikrofavno, ki kaže na maastricht in danij. Zato sodi Nikolić, da je nastal borski konglomerat v končni fazi sedimentacijskega ciklusa zgornje krede. Najni pogledi o položaju tega konglomerata v stratigrafski lestvici vulkanogenih in sedimentnih kamenin širše okolice Bora se torej ujemajo.

Kako je uspel Bogdanović najti v zgornjekrednem konglomeratu prodnike laramijskega magmatita, nam ostane uganka.

Borski pelit s tufom in tufitom

Večji del Bora stoji na pelitu, ki ga spremljajo tuf, tufit in v manjši količini vulkanska breča. Iz Bora se raztezajo te kamenine proti NNW do potoka Krutome, proti S pa do Brestovca ter odtod proti Metovnici in Gamzigradu. Njihovo talnino predstavljajo timocitove piroklastične kamenine, krovnino pa piroklastične kamenine piroksenovega, mandeljnasto piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega in rogovačnega andezita.

Prvotno smo imenovali te kamenine lapor, tuf in tufit (F. in M. Drovenik, 1956), Marić (1957) pa jih je popisal kot apnene, apneno silikatne in prave silikatne pelitske usedline.

Pelit, tuf in tufit so laminarni in plastoviti. Celotna serija ima smer povprečno N 325° W in vpada proti SW pod kotom 5° do 80°, povprečno 30°. Le med Čoka Dulkanom in Bor—Selom je njena smer SW-NE in vpad ponekod blago proti SE, drugod proti NW.

V apnenem pelitu, ki nastopa v spodnjem delu, je našel Lazarević (1912) fosilne ostanke *Inoceramus labiatus* in nekaj slabo ohranjenih brahiopodov; pripisal mu je senonsko starost. Tako je označen tudi na geološki karti V. K. Petkovića (list Dolnji Milanovac, 1933). Senonsko starost (koniacij — kampanij) teh usedlin je potrdila z mikropaleontološko raziskavo tudi Kochansky—Devidé (1951). V pelitu je namreč našla fosilne planktonske foraminefere vrste *Globotruncana lapparenti tricarinata* Quereau.

Podrobna preiskava odprtih profilov na površinskem kopu Čoka Dulkan, ob reki med Bor-Selom in Kormarošem ter v grapah na severovzhodnih pobočjih Balta Djoni je pokazala, da sestoji pelit iz treh delov: spodnjega, kjer se mu pridružujejo timocitove piroklastične kamenine, predvsem tuf in tufit (ta del meri povprečno 40 m), srednjega, ki sestoji v glavnem iz apnenosilikatnega pelita (75 do 80 m) ter zgornjega, kjer se začno v pelitu pojavljati piroklastične kamenine piroksenovega, mandeljnasto piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega in rogovačnega andezita (50 m).

Sestavo silikatnega in apneno silikatnega pelita je podal že M a r i ć (1957). Zato teh kamenin ne bomo podrobno popisovali. Omenim naj le, da smo našli v zbruskih pod mikroskopom poleg kalcita, plagioklazov, kremena, apatita, tremolita, rogovače, klinopiroksena, magnetita in muskovita tudi lističe biotita, ki so delno močno kloritizirani, delno pa sveži. Tu in tam smo opazovali v pelitu osamljene, povprečno 10 cm debele vložke psamitov, ki vsebujejo do 2,5 cm velike oblice rogovačnega in rogovačno biotitnega andezita ter drobna zrna paleozojskih skrilavcev.

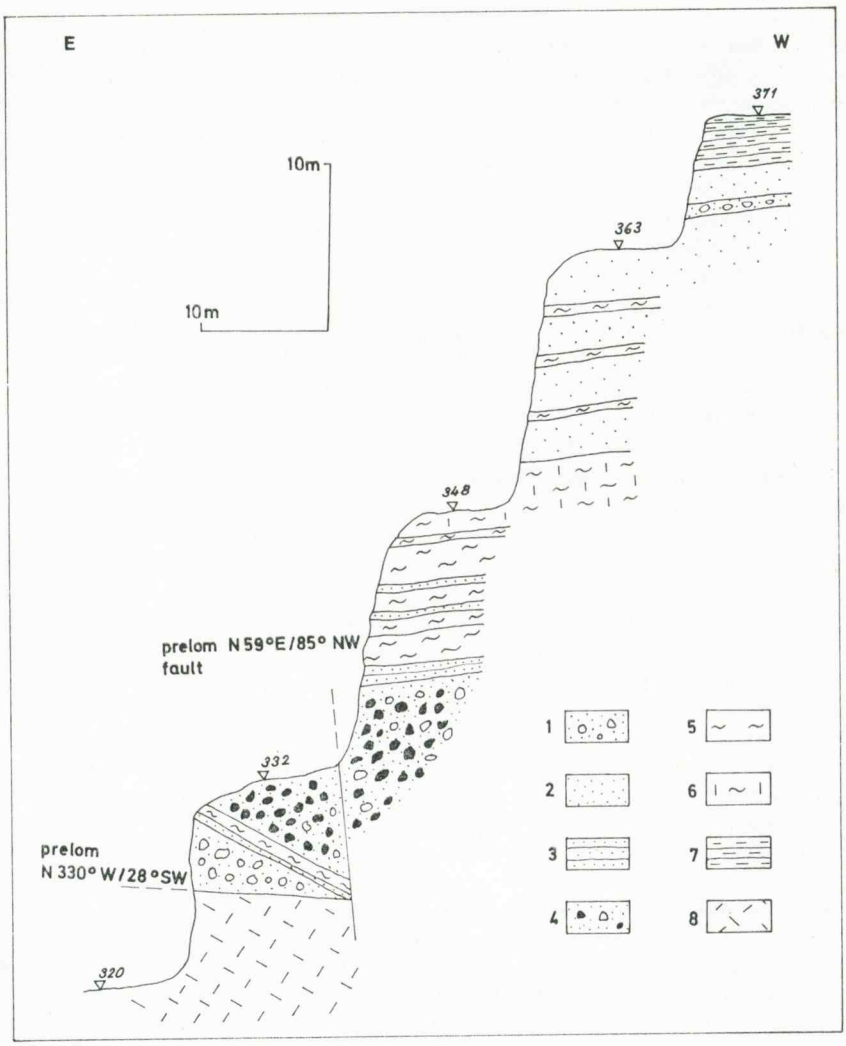
Geološke razmere v spodnjem delu pelita, kjer nastopajo tudi timocitove piroklastične kamenine, kaže sl. 14, kjer vidimo, da timocitove piroklastične kamenine postopno prehajajo v borski pelit s tufom in tufitom. Tuf in tufit v spodnjem delu borskega pelita sta zadnji znak timocitovega vulkanskega obdobja. Te kamenine so torej avtohtone in niso bile pozneje, v času terciarnih tektonskih faz, narinjene na timocitovo vulkansko brečo. To je odgovor na vprašanje, ki ga je postavil W. E. P e t r a s c h e k (1942).

Seveda pa postopen prehod ni povsod tako lepo ohranjen. Ker so fizikalne lastnosti timocitove vulkanske breče (v talnini) in pelita dokaj različne, je v času terciarne orogeneze pelit na več krajih drsel po svoji talnini. Ozke zdrobljene cone na meji med obema kameninama in vzporednost pelitskih plasti z mejno površino (kar vidimo tudi na Marićevem profilu 1957 str. 59) dokazujejo, da premiki niso bili veliki.

Na vzhodnem pobočju Balta Djoni in ob Borski reki smo našli v apneno silikatnem in silikatnem pelitu zgornjega dela serije posamezne plasti in vložke vulkanske in tufske breče, ki jo spremljata tuf in tufit.

Andezitski odlomki v breči zgornjega dela borskega pelita dosežejo premer 80 cm, a so povprečno veliki le 20 do 40 cm. Odlomki so temno sivi in temno sivo zeleni ter imajo sorazmerno majhne vtrošnike; plagioklazova zrna dosežejo kvečjemu dolžino 2 mm, rogovačina in piroksenova pa merijo največ 7 mm. Le v posameznih kosih so vtrošniki tudi večji. Prevladujejo odlomki piroksenovo rogovačnega andezita, našli pa smo tudi kose piroksenovega, mandeljnasto piroksenovega in rogovačno piroksenovega andezita, torej po sestavi povsem enake odlomke, kakršni so v krovnini borskega pelita.

O medsebojni legi borskega pelita tufa in tufita ter borskega konglomerata s peščenjakom smo ugotovili naslednje. Na površinskem kopu Čoka Dulkan in drugod timocitove piroklastične kamenine postopno prehajajo v borski pelit. Tudi v kriveljskem pasu timocitove piroklastične kamenine postopno prehajajo v pelit ter pelit v borski konglomerat in peščenjak. Iz tega sledi, da so se borski konglomerat, peščenjak in pelit sedimentirali na isto podlago, tj. na timocitove piroklastične kamenine. Razlika je le v tem, da sta nastajala konglomerat in peščenjak neposredno ob obali, pelit pa v globjem morju, kjer so še



Sl. 14. Geološki presek zahodnega pobočja površinskega kopa Čoka Dulkan
Fig. 14. Geologic section of the western slope of the Čoka Dulkan open pit

1. Timocitova vulkanska breča
   Timocite volcanic breccia
2. Masivni tuf in tufit
   Massive tuff and tuffite
3. Plastoviti tuf in tufit
   Bedded tuff and tufitte
4. Vulkanska breča rogovačnega andezita in timocita
   Volcanic breccia of hornblende andesite and timocite
5. Rdeči apneni pelit
   Red calcareous pelite

nekaj časa delovali podmorski vulkani. Konglomerat in pelit sta prišla v današnji položaj v mlajših orogenskih fazah.

MAGMATSKE KAMENINE

Globočnine

Plagiogranit

Pri vasi Bučje nahajamo več izdankov globočnine, ki je močno zdrobljena, tu in tam celo spremenjena v milonit. Kamenina ima pod mikroskopom hipidiomorfno zrnato strukturo; sestoji iz plagioklazov, kremena, rogovače in biotita. V podrejenih količinah zasledimo magnetit, apatit, mikroklin, sfen in cirkon. Prevladujejo plagioklazova zrna, ki dosežejo premer 1,5 cm, vendar merijo povprečno le 4 do 8 mm. Zrna imajo idiomorfne in ksenomorfne preseke, številna so dvojčična, nekatera tudi rahlo conarna. Po majhni spremembi kota potemnitve posameznih con sklepamo, da razlika v sestavi ni posebno velika. Vsebujejo 28% (obrobne cone) do 38% (jedra) anortita.

Plagioklazova zrna so navadno kataklastična, sericitizirana in kaolinizirana. V majhni količini jih spremljajo ksenomorfna zrnca mikroklina, ki so prav tako močno spremenjena.

Kremenova zrnca zavzemajo skoraj $^1/_5$ opazovanih površin. So ksenomorfna in kataklastična; združujejo se v večja nepravilna polja, ki valovito potemne.

Tudi rogovačina zrna so ksenomorfna in kataklastična; največja dosežejo premer 6 mm. Pleohroizem je še dokaj jasen: temno zelena barva (Ng), zelena (Nm) in svetlo rumeno zelena (Np). Kot Ng [001] meri povprečno 17°. Manjši del rogovačinih zrn je metamorfoziran v klorit.

Rogovači se pridružujejo manjša zrna biotita, ki so močno kloritizirana ter vsebujejo tu in tam zrnca cirkona z značilnim pleohroitskim vencem.

Akcesorni komponenti sta magnetit in apatit.

Po modalni sestavi bi prištevali to globočnino k prehodnim različkom med granitom in granodioritom, oziroma kremenovim dioritom, toda ker vsebuje tudi mikroklin, jo bomo zadržali v skupini granita in jo imenovali po Zavarickem (1956) plagiogranit.

Od izdankov pod potjo Veliki Krivelj—Bučje se razteza plagiogranit vzdolž potoka proti SE in NW; v Bučju ga opazujemo na dolžini skoraj 1,5 km. Geološka karta kaže, da meji globočnina z močnim reverznim prelomom na jurski apnenec Golega krša in tudi njena meja z zgornjekrednimi piroklastiti je tektonska.

Močno milonitizaran plagiogranit smo našli tudi ob poti Bučje — Bele vode. Večje površine zavzema plagiogranit severozahodno od Belih vod ob poti v Gornjane in med Fec vrhom in Stolom. Plagiogranit pripada k skupini gornjansko-tandinih granitov, ki so hercinske starosti (V. Simić, 1953).

6. Sivi apneni pelit
   Gray calcareous pelite
7. Silikatni pelit
   Silicate pelite
8. Hidrotermalno spremenjena cona
   Hydrothermally altered zone

Diorit

V hidrotermalno spremenjeni kriveljski coni najdemo ponekod izdanke manj spremenjenih predornin. To so predvsem izdanki rogovačno biotitnega in rogovačno piroksenovega andezita, ki imata še ohranjeno porfirsko strukturo, včasih tudi dokaj sveže plagioklaze. Mimo teh izdankov smo našli ob Todorovem potoku nekaj 100 m^2 velik izdanek sivo zelene zrnate kamenine, sestavljene iz plagioklazov in femičnih komponent, ki imajo tu in tam idiomorfne preseke ter dajejo kamenini porfiroidno strukturo.

Pod mikroskopom vidimo, da ima kamenina hipidiomorfno porfiroidno strukturo, ki je značilna za obodne dele plutona in za čoke. (tabla II, sl. 2). V zbruskih prevladujejo plagioklazova zrna, ki so nastala v dveh generacijah. Večja zrna dosežejo premer pol cm in imajo navadno pravilne preseke. Manjša zrna s povprečnimi premeri 0,4 × 0,1 mm so delno ali povsem ksenomorfna in nastopajo med večjimi. Merjenja so pokazala, da sestoje srednji deli plagioklazovih zrn iz bitovnita ali celo anortita. Količina an se spreminja od 82% do 95%.

V perifernih delih se sestava plagioklazovih zrn naglo spreminja od bitovnita, oziroma anortita do andezina, ki vsebuje povprečno 34% an.

Med plagioklazi nastopajo redka zrnca anortoklaza. Povprečno so velika 0,1 × 0,1 mm in ksenomorfna. Dvojčki po karlovarskem zakonu so redki. Ker so zrna močno kaolinizirana, smo jih le težko izmerili.

Kremenova zrna so med prvotnimi komponentami najmlajša. Ker so kristalizirala zadnja, imajo ksenomorfne oblike.

Femične komponente so bile prvotno tri: rogovača, avgit in biotit. Najstarejši je avgit. Njegova zrna so sedaj povsem spremenjena v drobnozrnat agregat kalcita, klorita, magnetita in epidota; tu in tam najdemo tudi piritno zrno.

Potem ko se je količina vode v magmi povečala, je nastajala namesto avgita rogovača, ki ga navadno prekriva v obliki avreole. Ker je kristalizirala šele tedaj, ko je večji del kamenine že skrepenel, ima ksenomorfne preseke. Rogovačina zrna kažejo pleohroizem: Ng = rjava, Nm = svetlo rjava in Np = svetlo rumena barva. Kot potemnitve meri povprečno 18,5°. Vzdolž razkolnosti rogovačo nadomeščata aktinolit in klorit.

Mimo rogovače je ostal dokaj svež tudi biotit. Nastopa v zrnih s podolgovatimi preseki, ki merijo povprečno 0,2 × 0,05 mm. V kamenini je neenakomerno razporejen. To velja tudi za zrnca magnetita, apatita in sfena.

Drugotni minerali, ki nadomeščajo plagioklaze, anortoklaz in femične komponente, so nastali delno ob hidrotermalni metamorfozi, delno pa pri preperevanju.

Porfiroidna struktura dokazuje, da je skrepenela ta kamenina v nekoliko bolj plitkem nivoju, po velikosti izdanka pa sodimo, da tvori močnejšo apofizo in ne obodni del plutonita. Glede na sestavo plagioklazov in barvni indeks predstavlja globočnina nekoliko bolj bazičen različek diorita. Njegovo modalno sestavo kaže tabela 17.

Podobno strukturo, toda nekoliko drugačno sestavo ima vzorec jedra iz vrtine št. 1, vrtane leta 1948 pod Čoka Čuruli v hidrotermalno spremenjeni coni Malega Krivelja. Preiskal ga je M a r i ć (1957) in določil kot kremenov

MODALNA SESTAVA DIORITA

MODE COMPOSITION OF DIORITE

Tabela 17 Table 17

	1	2
Anortoklaz	0,3%	0,3%
plagioklazi	69,8	68,6
kremen	2,9	2,9
rogovača	11,2	13,2
avgit	—	10,3
biotit	0,9	0.9
magnetit	4,8	3,8
apatit	sl.	sl.
sfen	sl.	sl.
aktinolit	2,1	—
kalcit	6,8	—
klorit	1,2	—
epidot	sl.	—
sericit	sl.	—
kaolin	sl.	—
pirit	sl.	—
	100,0%	100,0%

1. sedanja sestava diorita
   Actual composition of diorite
2. prvotna sestava diorita
   Original composition of diorite

diorit. Ta kamenina sestoji iz zrn plagioklazov, rogovače, biotita in kremena. Nigglijeve vrednosti povedo, da je kremenov diorit skrepenel iz dioritne (levkopeleeitne) magme. Sorazmerno majhna količina kremena (6,4%) pravzaprav ne govori za kremenov diorit, temveč za diorit (po Trögerju je meja med dioritom in kremenovim dioritom pri 10% kremena).

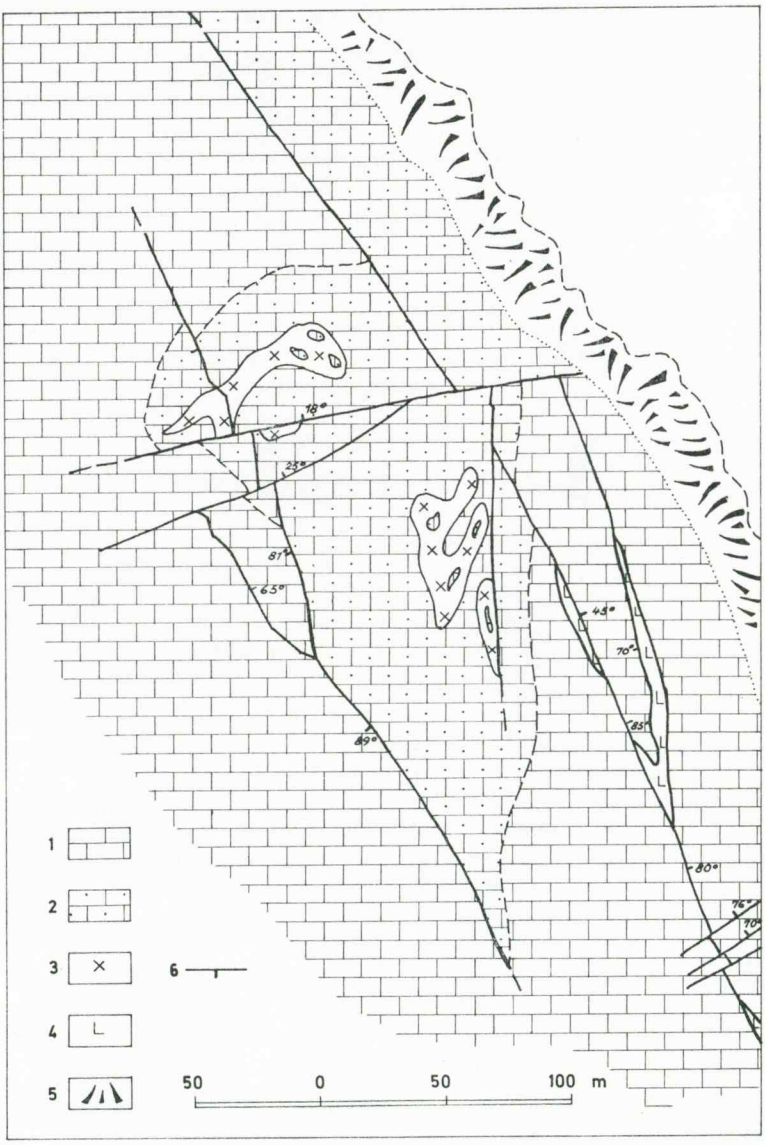
Zelo podobno sestavo kakor plutonit pod Čoka Čuruli ima tudi hipoabisični ekvivalent, ki izvira iz istega magmatskega ognjišča, tj. kremenov dioritni porfir v kamnolomu na Kriveljskem kamnu.

Žilnine

Kremenov dioritni porfir

V kamnolomu Kriveljskega kamna prebijajo spodnjekredni apnenec temno sivo zelene kamenine (sl. 15), v katerih že na oko vidimo majhne bele vtrošnike plagioklazov in ponekod vškropljena piritna zrnca. Spodnjekredni apnenec je v delu kamnoloma, kjer ga prebija žilnina, marmoriziran, neposredno ob kontaktu pa spremenjen v skarn. Pod mikroskopom najdemo v skarnu poleg granata kremen, magnetit, hematit, pirit in kalcit.

Žilnina ima holokristalno porfirsko stukuro. Plagioklazovi vtrošniki nastopajo v hipidiomorfni zrnati osnovi (tabla II, sl. 3), ki sestoji iz zrnc plagioklazov, kremena, anortoklaza (?) in biotita. Akcesorna sta magnetit in apatit.



Sl. 15. Geološka karta kamnoloma Kriveljski kamen
Fig. 15. Geologic map of the Kriveljski Kamen quarry

1. Spodnjekredni apnenec
   Lower Cretaceous limestone
2. Marmoriziran spodnjekredni apnenec
   Marmarized Lower Cretaceous limestone
3. Kremenov dioritni porfir
   Qnartz-diorite porphyry

Večja plagioklazova zrna imajo idiomorfne preseke. Povprečno merijo sicer le 0,9 × 0,3 mm, vendar dosežejo tudi 5 × 1,5 mm. Plagioklazi so močno sericitizirani, karbonatizirani in kaolinizirani, tu in tam zasledimo tudi biotitove lističe. Le posamezna zrna so tako ohranjena, da smo jih mogli optično preiskati. Ta zrna so v sredini homogena, v obrobnih delih pa izrazito conarna; vedno najdemo tudi inverzne cone. Plagioklazi so torej najprej kristalizirali pri konstantnih pogojih v večjem magmatskem ognjišču, pozneje pa v hipoabisičnem nivoju, kjer so se razmere naglo spremenile. V njihovih srednjih delih se spreminja količina anortita od 36% do 44%, v obrobnih conah pa smo našli povprečno le 25% an.

Dokaj pogostna kremenova zrnca imajo manjše preseke kakor plagioklazova, vendar so navadno idiomorfna.

Rogovačina zrna, ki so prvotno tudi nastopala v tej kamenini, so sedaj povsem kloritizirana in sericitizirana; ohranile so se le še njihove konture.

Holokristalno osnovo sestavljajo predvsem idiomorfna in ksenomorfna zrnca plagioklazov in kremena, ki merijo povprečno 0,09 mm. Med njimi zasledimo močno kaolinizirana ksenomorfna zrnca, ki pravilno potemne; zelo verjetno pripadajo anortoklazu. Sestavo osnove dopolnjujejo biotitova, magnetitova in apatitova zrnca.

Ker je kremenov dioritni porfir močno spremenjen, nismo našli vzorca, ki bi bil primeren za kemično analizo. Toda glede na modalno sestavo kamenine in količino anortita v plagioklazovih zrnih ne bomo pogrešili, če pripišemo magmi, iz katere je skrepenela, kremenovo dioritno sestavo. Takšno sestavo pa je imela tudi magma, iz katere je skrepenel kremenov dioritni porfir na območju Crni vrh — Potoj Čuka — Oman (M. D r o v e n i k, 1959).

Kremenov dioritni porfir so navrtale tudi nekatere vrtine v novo odkritem bakrovem nahajališču tipa »disseminated« pri Velikem Krivelju. Žilnina leži v isti zdrobljeni coni kakor diorit Todorevega potoka. Nadrobno smo raziskali vzorce kremenovega dioritnega porfirja iz vrtine B 34 a. Za vse vzorce je značilna holokristalna porfirska struktura: vtrošniki plagioklazov in rogovače leže v hipidiomorfni zrnati osnovi. Med vtrošniki prevladujejo zrnca plagioklazov, ki vsebujejo 40% do 47% anortita. V osnovi smo zasledili mimo plagioklazov in kremena tudi anortoklaz. Pri nekoliko kasnejši K-metasomatozi so nastali v tej kamenini številni drobni lističi biotita.

Žile kremenovega dioritnega porfirja prebijajo v rudišču Veliki Krivelj andezite, njihove piroklastite in apneni pelit. Hidrotermalne raztopine, ki so spremljale diorit in kremenov dioritni porfir so povzročale v andezitih in piroklastitih predvsem epidotizacijo, kloritizacijo, biotitizacijo in silifikacijo, medtem ko je bil apneni pelit spremenjen v granatovo epidotov skarn. Rudišče Veliki Krivelj, ki leži v tako spremenjenih kameninah, vsebuje po A l e k s i ć u (1966) približno 150 milijonov ton rude z 0,3 do 0,5% bakra.

4. Milionitiziran rogovačni andezit
   Mylonitized hornblende andesite
5. Melišče
   Scree
6. Prelom
   Fault

Predornine

Dosedanji literaturni podatki

Sredi preteklega stoletja je bil Majdanpek edini večji metalni rudnik v Vzhodni Srbiji. To rudišče je pritegnilo pozornost geologov s svojim rudnim bogastvom, magmatskimi kameninami in tektoniko, Drugim območjem so posvečali manj pozornosti, vendar je Breithaupt (1860) popisal rogovačno biotitni andezit z velikimi femičnimi vtrošniki, ki ga je našel ob reki Timok; imenoval ga je timocit.

Prve podatke o magmatskih kameninah širše okolice borskega rudnika je dal Erös (1892), ki je preiskal vzorce kamenin iz Szabójeve zbirke. Med drugim je določil tudi biotitov ortoklazov andezinov kremenov trahit iz Brestovačke banje in piroksenov andezit brez hiperstena iz Brestovca.

Pozneje je Žujović (1900) popisal nekatere kamenine iz »Crnorečkega bazena« (tako so imenovali timoško eruptivno območje). Omenil je avgitni andezit iz Brestovca in Velikega Krivelja, rogovačni andezit z velikimi rogovačnimi vtrošniki iz Brestovca in Bora, (verjetno Breithauptov timocit), trahit iz Bora in melafir iz Velikega Krivelja. Kamenine, ki jih je popisal, naj bi bile delno mlajšeeocenske (daciti, andeziti in trahiti s »propilitskim habitusom«), delno pa miocenske starosti (biotitni, rogovačni in piroksenov andezit).

Magmatske kamenine ožje okolice Bora je opisal Lazarević (1912) v klasičnem delu o Čoka Dulkanu. Na podlagi svojih zapažanj je določil v ožji okolici Bora dve erupcijski obdobji: senonsko z rogovačnim andezitom in postsenonsko s timocitom.

Kot Lazarević je domneval tudi Heise (1933), da predstavlja andezit z velikimi kristali (tj. Breithauptov timocit, op. pisca) mlajšo intruzijo. Skrepenel naj bi bil pod pokrovom starejših, delno že ohlajenih andezitov, za katere so značilni sorazmerno manjši vtrošniki (2 do 3 mm). Ker je našel andezit z velikimi femičnimi vtrošniki le v okolici Bora, je sklepal, da je orudenje v genetski zvezi z »intruzijo« te kamenine. Erupcije andezita, ki tvori pokrov, naj bi bile sledile savski fazi; zelo verjetno so miocenske starosti. Seveda bi bila potem tudi timocitova »intruzija« miocenska, morda celo mlajša.

Skoraj istočasno je Tomić (1931) v okolici Zlota, Brestovačke banje, Podgorca in Sumrakovca ločil piroksenov in rogovačni andezit ter dacit. Piroksenov andezit je razdelil na različka z avgitom in s hiperstenom ter s piroksenom in rogovačo, rogovačnega pa na različka z rogovačo ter z rogovačo in avgitom. Dacit se razlikuje od andezita po tem, da vsebuje poleg rogovačinih in andezinovih vtrošnikov tudi vtrošnike biotita in kremena.

Vulkanite z ožjega območja borskega rudnika je omenil tudi Clar (1946). Pri določitvi njihove starosti se je opiral delno na Lazarevićeve in Heisejeve podatke, delno pa na delo V. K. Petkovića o tektoniki Vzhodne Srbije.

Del Clarovih starejših andezitov, ki jih nahajamo zahodno od Bora, je popisal Ilić (1953/54). V predorninah s hipokristalno osnovo je našel spremenljive količine vtrošnikov avgita, pigeonita, hiperstena, rogovače in plagioklazov. Po plagioklazovih vtrošnikih je določil labradorski, bitovnitski in anortitski andezitbazalt, po femičnih komponentah pa avgitni, hiperstenski in

amfibolski andezitbazalt. Andezitbazalti so skrepeneli v mlajšem terciarju; predstavljali naj bi produkte finalnega vulkanizma.

Del magmatskih kamenin iz Bora in okolice je zelo podrobno preiskal Marić (1957), ki jih je razdelil v štiri serije:

K prvi seriji je prištel v glavnem mandeljnasti avgitni andezit in avgitno rogovačni andezit. Ker sta mineraloška in kemična sestava teh kamenin zelo slični sestavi triadnih magmatitov v Dinaridih, je sklepal na možnost, da so starejše od zgornje krede.

V drugo serijo je uvrstil timocit, kremenov diorit, granodiorit in monzonit. Vse te kamenine naj bi bile nastale v zgornjem eocenu. Timocitovo brečo z dnevnega kopa Čoka Dulkan pa je označil kot slabo vezano tektonsko brečo, medtem ko je brečo z vzhodnega pobočja Kraku Kalafir prištel k obodni hipoabisalni breči.

Tretja serija obsega rogovačno biotitni in biotitno rogovačni dacit, ki prebijata timocit in senonski pelit. Njuna starost naj bi bila oligocenska.

Četrto serijo predstavlja labradorski (bitovnitski) andezit, kot najmlajša magmatska kamenina s konca terciarja.

Različni avtorji so torej iste kamenine v okolici Bora različno imenovali. To velja tako za najbolj značilno predornino širše okolice Bora — timocit, kakor tudi za temne jedre predornine zahodno od Bora. Danes tudi v svetovni literaturi ne najdemo splošno priznane, enotne klasifikacije za andezite, še manj pa za njihove bolj kisle in bolj bazične različke; meja med andeziti in daciti z ene ter bazalti z druge strani ni dovolj jasna.

Po Rosenbuschu (1910) so andeziti efuzivni različki dioritne magme terciarne starosti. Vsebujejo vtrošnike plagioklazov in femičnih mineralov, po katerih jih Rosenbusch deli v rogovačni, biotitni, hiperstenov in avgitni andezit. Rogovačni in biotitni andezit vsebujeta bolj kisle plagioklaze, hiperstenov in avgitni pa bolj bazične. Zirkel (Johannsen, 1952) in Zavaricki (1956) dopuščata, da ločimo po femičnih komponentah prav tako andezitske različke, ki vsebujejo vtrošnike labradorita, bitovnita ali celo anortita.

Johannsen (1952), enako kakor večina ameriških petrografov, prišteva k andezitom predterciarne in terciarne efuzivne različke dioritov, v katerih se spreminja količina femičnih mineralov od 5 % do 50 %; predornine z manjšo količino femičnih komponent imenuje levkoandezit, z večjo količino pa melaandezit. Predornine z bolj bazičnimi plagioklazovimi vtrošniki prišteva k bazaltom.

Idinggs je predlagal delitev andezitov po normativnem plagioklazu (Tröger, 1935), in ločil oligoklazov, andezinov in labradoritov andezit.

Francoski petrografi štejejo k andezitom le tiste predornine, ki vsebujejo mikrolite andezina, predornine z labradoritovimi mikroliti pa imenujejo labradorit.

Navedene klasifikacije so uporabili tudi naši petrografi. Žujović (1900) je ločil andezite predvsem po femičnih komponentah, vendar je nekatere različke z labradoritnimi fenokristali imenoval labradorit (npr. avgitski labradorit iz Šarbanovca). Tudi Tućan (1927/28) in Tomić (1931) sta delila andezite po femičnih komponentah. Marić uporablja tudi imena labradorski in bitovnitski andezit (1957).

Predornine območja Bor-Brestovačka banja-Crni vrh je Tomić popisal kot piroksenov in rogovačni andezit, Ilić kot andezitbazalt (1953/54), Marić pa kot piroksenov ter labradorski in bitovnitski andezit.

V tem delu bomo ločili andezite po njihovih femičnih vtrošnikih. K andezitom štejemo tudi temne jedre predornine zahodno od Bora, ki jih je Ilić (1953/54) imenoval andezitbazalt. To ime smo zadržali tudi v delu o magmatizmu Vzhodne Srbije (M. Drovenik i dr., 1968). Vendar pa ima ta kamenina, kakor je navedel Marić (1957), premajhen barvni indeks in vsebuje nekoliko več K_2O; zato jo bomo šteli k andezitom.

Že Marić (1957) je v širši okolici Bora našel tudi dacite. Rosenbusch šteje k dacitom efuzivne različke kremenovo dioritne magme, ki vsebujejo poleg plagioklazovih in femičnih vtrošnikov tudi vtrošnike kremena. Glede na femične komponente jih deli na sljudne (biotitove), rogovačne, hiperstenove in predornine, ki sestoje iz vtrošnikov rogovače in plagioklazov ter vsebujejo tudi kremen, oziroma pokažejo prebitek SiO_2.

Rogovačno biotitni andezit

Črta Gamzigrad—Metovnica—Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole deli severno polovico timoškega eruptivnega območja v petrografskem pogledu v dva dela. V zahodnem delu prevladujejo piroksenov, piroksenovo rogovačni, rogovačno piroksenov in rogovačni andezit, v vzhodnem pa rogovačni in rogovačno biotitni andezit ter dacit. Med andeziti vzhodnega dela se po velikosti femičnih komponent odlikuje različek rogovačno biotitnega andezita, ki ga je pred 100 leti Breithaupt imenoval timocit.

Timocit se po mineraloški sestavi bistveno ne razlikuje od drugih rogovačno biotitnih andezitov širše okolice Bora. Loči pa se od njih po velikih vtrošnikih rogovače in biotita, ki dosežejo tu in tam premer 4 cm, medtem ko so plagioklazi veliki največ 5 mm. Ta različek rogovačno biotitnega andezita je za širšo okolico Bora značilna kamenina; v njej leži tudi borsko rudišče. Zato je Marić (1957) posebno ime zadržal, čeprav s petrokemičnega stališča to ni dovolj utemeljeno.

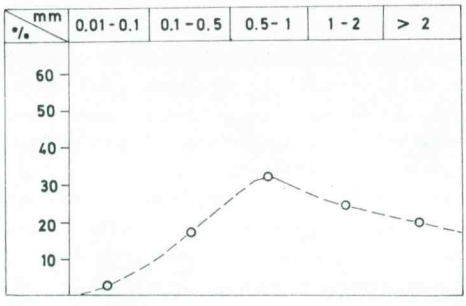
Timocitovi izdanki so osamljeni; v širši okolici Bora močno prevladujejo njegovi piroklastiti.

Našli smo dve veliki timocitovi subvulkanski intruziji. Prva se širi s površinskega kopa prek Bor-Sela po južnem pobočju Kraku Kalafirja do vznožja Tilva Njalt, druga pa po južnem pobočju Tilva Cerove, Tilva Drenove ter po vzhodnem pobočju Kraku Bugaresku. Mimo tega smo našli nekaj manjših prebojev. Timocit je na površju močno preperel. Vzorce za podrobno petrografsko preiskavo smo zategadelj vzeli le tam, kjer smo našli timocit z rudarskimi deli. Timocit z jugovzhodnega dela dnevnega kopa Tilva Mika ima močno kloritizirano in karbonatizirano rogovačo in biotit, medtem ko so plagioklazi skoraj povsem sveži. Timocit se značilno prizmatsko kroji (sl. 16).

Modalna sestava vzorca ob jašku Skip na 11. obzorju kaže, da v timocitu prevladujejo plagioklazovi vtrošniki nad rogovačinimi in biotitovimi in da sta količini vtrošnikov in osnove skoraj enaki (tabela 18). Vtrošniki so tu in tam tudi fluidalno razporejeni. Osnova je holomikrokristalna.

Sl. 16. Prizmatska krojitev timocita v vzhodnem delu površinskega kopa Tilva Mika

Fig. 16. Prismatic jointing of timocite in the eastern portion of Tilva Mika open pit



Sl. 17. Količine plagioklazov po velikosti njihovih zrn. Vzorec timocita z 11. obzorja ob jašku Skip

Fig. 17. Diagram showing the plagioclase quantities according to their grain seizes. The timocite specimen taken on the 11th horizon near the Skip shaft

TIMOCIT Z 11. OBZORJA OB JAŠKU SKIP

TIMOCITE FROM 11th HORIZON NEAR THE SKIP SHAFT

Tabela 18 Table 18

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	57,60%	Q	16,7%	14,3%	15,4%	15,4%	19,3%
TiO_2	0,44	or, Or	13,3	13,3	11,4	11,5	10,0
Al_2O_3	17,75	ab, Ab	23,1	24,5	24,5	24,5	24,5
Fe_2O_3	3,28	an, An	27,5	27,5	27,5	23,0	17,5
FeO	2,51	C, Cord	1,4	4,1	4,1	—	2,5
MnO	0,055	hy, Hy	12,0	1,8	1,8	1,8	3,2
MgO	4,07	En	—	10,4	8,0	2,1	—
CaO	5,51	Bi	—	—	3,2	3,2	3,8
Na_2O	2,62	Ho	—	—	—	7,2	10,5
K_2O	2,18	mt, Mt	4,9	3,5	3,5	3,5	3,6
P_2O_5	0,14	ap, Ap	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
S_2	0,003	il, Ru	0,8	0,3	0,3	0,3	—
H_2O+	2,46	At, Chl	—	—	—	3,2	4,8
H_2O-	1,01	Ka	—	—	—	4,0	—
CO_2	0,66						
	100,28		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Nigglijeve vrednosti so:

si	187	k	0,32
al	33.5	mg	0,60
fm	34,5	ti	0,93
c	19,3	p	0,19
alk	12,7	π	0,39
		γ	0,09
		qz	+36

Magma: Kremenovo dioritna (tonalitska)
CIPW II. 4. 3. 4.

Plagioklazovi vtrošniki so navadno dvojčični in conarni. Največji del vtrošnikov nastopa v zrnih s premeri 0,5 do 2 mm, kar kaže sl. 17. Presledek v kristalizaciji manjših in večjih zrn je dokaj jasen; zrnom s premeri nad 0,5 mm pripada skoraj 80%, zrnom s premeri pod 0,5 mm pa okrog 20% od celotne količine plagioklazovih vtrošnikov.

Plagioklazova zrna imajo povečini idiomorfne preseke (tabla III, sl. 1), le osamljena zrna so okrušena. V vtrošnikih timocita se količina anortita spreminja od 51% do 60,5%; povprečno vsebujejo zrna 55%.

Na oko in pod mikroskopom zasledimo v timocitu kremen zelo redko in to le na dnevnem kopu Tilva Mika. Zrna so lepo zaobljena in dosežejo premer 18 mm. Ker valovito potemnijo, menimo, da ne predstavljajo kristalizacijskega produkta magme, iz katere je nastal timocit, temveč gre verjetno za delce klastičnih usedlin, padlih v prodirajočo magmo.

V timocitu na dnevnem kopu in v jami so rogovačini vtrošniki precej številnejši kakor biotitovi. Oboji pa nastopajo v značilnem prizmatskem habitusu. Rogovača ima pod mikroskopom zelo pogosto idiomorfne preseke. Jasen

pleohroizem imajo le zrna v timocitu iz bližine jaška Skip; Ng = travnato zelena, Nm = zelenkasto rumena, Np = svetlo rumenkasto zelena barva. Kot potemnitve se spreminja od 15,5° do 20,5°, 2V meri povprečno —78°. Podatki govore za rogovačo, ki je nekoliko bolj bogata z Mg kakor z Fe (Tröger, 1952). Tu in tam zasledimo v njej zrnca magnetita, prav redko tudi apatita. Vzdolž razkolnih razpok nadomeščata rogovačina zrna predvsem klorit in kalcit.

Tudi za biotitova zrna so značilni idiomorfni preseki. Pleohroizem je izrazit. Preseki, vzporedni s prizmo enakomerno potemne. Značilno je, da obdajajo številna biotitova zrna v obliki avreole drobna rogovačina in magnetitova zrna. Ta so nastala v zadnji fazi skrepenenja, ko se je zaradi zmanjšanega pritiska osvobodila voda (in druge lahko hlapne komponente) ter biotit v novih pogojih ni bil več obstojen. Vključki plagioklazov in magnetita so v biotitovih vtrošnikih številnejši kakor v rogovačinih.

Akcesorni komponenti sta magnetit in apatit. Prvi močno prevladuje, oba pa nastopata v idiomorfnih zrnih.

Osnova je sicer holomikrokristalna (mikrogranitska), vendar še vedno preveč drobnozrnata, da bi mogli zanesljivo določiti njeno sestavo. Ugotovili smo le zrnca plagioklazov, ki merijo povprečno 0,01 mm, magnetita, kremena(?) ter rogovačine iglice, ki so često kloritizirane. Nekoliko večja plagioklazova zrna, ki dosežejo premere 0,03 mm, imajo lomni količnik enak lomnemu količniku kanadskega balzama; zelo verjetno pripadajo oligoklazu.

Tudi kemična analiza je napravljena iz timocitovega vzorca, ki smo ga vzeli ob jašku Skip na 11. obzorju. V tem vzorcu je biotit povsem svež, plagioklazi so neznatno karbonatizirani in kaolinizirani, prav tako je tudi rogovača nekoliko spremenjena (kloritizirana in karbonatizirana). Podatke analize kaže tabela 18.

Plagioklazi popisanega timocita vsebujejo torej 54,5 % (CIPW), 53 % (Niggli 1), 53 % (Niggli 2), 48,5 % (Niggli 3) in 41,5 % anortita (Barth). Barvni indeks pa niha takole: 18,0 % (CIPW), 16,3 % (Niggli 1), 17,1 % (Niggli 2), 25,6 % (Niggli 3) in 26,2 % (Barth).

Nigglijeve vrednosti tega timocitovega vzorca se nekoliko razlikujejo od vrednosti, ki jih navaja Marić (1957). Občutnejše razlike so predvsem v količini *c* (pri Mariću precej večja), *si* in *qz* (pri Mariću precej manjši). Marićev timocit pripada nadalje dioritnemu, naš pa kremenovodioritnemu tipu magme.

Timocit je bil v Boru, ponekod med Borom in Malim Kriveljem ter tudi NW odtod, hidrotermalno močno spremenjen (F. in M. Drovenik, 1956). Že Clar (1946) je ugotovil, da so te spremembe v neposredni zvezi z orudenenjem.

Od timocita že megaskopsko ločimo druge različke rogovačno biotitnega andezita, ki smo jih našli v okolici Velikega Krivelja, na Selišču in na Rudjevici. V teh predorninah so namreč femični vtrošniki manjši in po velikosti enaki plagioklazovim; premer zrn niha med 0,5 do 8 mm. Vtrošniki glinencev vsebujejo povprečno 53 % anortita.

Modalno sestavo teh kamenin kaže tabela 19, kemično pa tabele 20, 21 in 22.

MODALNA SESTAVA ROGOVAČNO BIOTITNEGA ANDEZITA

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE BIOTITE ANDESITE

Tabela 19 Table 19

	1	2	3	4
Osnova	50,5%	49,8%	56,0%	50,6%
plagioklazi	27,8	33,9	29,5	31,4
rogovača	15,8	11,4	10,1	11,8
biotit	3,8	2,7	0,5	2,5
magnetit	1,2	0,8	2,0	1,9
apatit	0,2	0,1	sl.	0,1
kalcit	0,7	—	—	—
klorit		—	—	—
zeoliti	—	1,3	1,9	1,7
kaolin	—	sl.	sl.	sl.
kalcedon	—	—	sl.	—
pirit	sl.	—	—	—
anhidrit	sl.	—	—	—
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

1. Timocit, ob jašku Skip na 11. obzorju
2. Rogovačno biotitni andezit, Rudjevica
3. Rogovačno biotitni andezit, Livada Denka
4. Rogovačno biotitni andezit, Veliki Krivelj

Vzorec rogovačno biotitnega andezita z Rudjevice je svetlo siv. Na oko opazimo le vtrošnike plagioklazov, rogovače in biotita. Plagioklazi dosežejo premer 7 mm in vsebujejo 50% do 55% anortita. Pri preperevanju andezita so nastali zeoliti in kaolin. Kemično analizo vzorca z Rudjevice kaže tabela 20.

Vrednosti anortita, izračunane po podatkih kemične analize vzorca z Rudjevice, so: 47 % (CIPW), 47 % (Niggli 1), 47 % (Niggli 2), 43 % (Niggli 3) in 47 % an (Barth). Barvni indeks se spreminja takole: 16,5 (CIPW), 15,4 (Niggli 1), 15,9 (Niggli 2), 18,5 (Niggli 3) in 21,9 (Barth).

Nigglijeve vrednosti tega različka se močno približujejo Nigglijevim vrednostim timocita iz borske jame; nekoliko večja odstopanja pokažejo le vrednosti *fm* in *alk*.

Nadaljnje izdanke rogovačno biotitnega andezita smo našli v okolici Velikega Krivelja. Predornina je povečini hidrotermalno močno spremenjena; dokaj sveža je le na izdanku ob Kriveljski reki (SE od Velikega Krivelja) in na Livada Denki (NW od Velikega Krivelja).

Količine anortita, dobljene iz podatkov kemične analize, so: 46,5 % (CIPW), 44,5% (Niggli 1 in 2); spojine *Fo* je premalo, da bi mogli izračunati tudi vrednosti Niggli 3; 39 % (Barth). Barvni indeks je: 17,7 (CIPW), 16,9 (Niggli 1), 18,2 (Niggli 2) in 22,9 % (Barth).

Ta različek rogovačno biotitnega andezita je nekoliko manj bogat s kremenico kakor različek z Rudjevice, Nigglijeve vrednosti obeh se pa občutno razlikujejo le v *c* in *k*. Mikroskopska in kemična analiza sta torej pokazali, da sta obe kamenini zelo sorodni.

ROGOVAČNO BIOTITNI ANDEZIT Z RUDJEVICE

HORNBLENDE BIOTITE ANDESITE FROM RUDJEVICA

Tabela 20 Table 20

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	59,20%	Q	13,3%	11,6%	12,5%	12,3%	14,6%
TiO_2	0,45	or, Or	15,0	14,8	13,2	13,2	12,5
Al_2O_3	17,78	ab, Ab	29,3	31,1	31,1	31,1	31,0
Fe_2O_3	3,38	an, An	25,9	27,3	27,3	23,3	19,0
FeO	2,54	C	—	—	—	—	1,0
MnO	0,06	di	2,4	—	—	—	—
MgO	3,11	hy, Hy	8,1	1,9	1,9	1,9	1,6
CaO	5,90	En	—	8,7	5,4	—	—
Na_2O	3,40	Wo	—	0,5	—	—	—
K_2O	2,44	Ho	—	—	1,8	7,8	10,7
P_2O_5	0,16	Bi	—	—	2,7	2,7	2,7
S	0,003	At, Chl	—	—	—	2,0	2,8
H_2O+	1,27	Ka	—	—	—	1,6	—
H_2O-	0,44	mt, Mt	4,8	3,5	3,5	3,5	3,8
CO_2	0,15	il, Ru	0,9	0,3	0,3	0,3	—
		ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	100,28		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	192	ti	1,1
al	33,8	p	0,2
fm	30,1	mg	0,59
c	20,2	k	0,33
alk	15,9	π	0,34
		γ	0,11
		qz	+30

Tip magme: Kremenovo dioritni (kremenovo dioritni)
CIPW II. 4. 3. 4.

Rogovačno biotitni andezit NW od Krivelja na Livada Denki ima v širši okolici Bora, vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj, skorajda najmanjše vtrošnike. Plagioklazi vsebujejo povprečno 53 % an ter merijo povprečno le 0,4 x 0,8 mm, rogovače 1 mm in biotit 1 do 2 mm; zrna s premeri nad 4 mm so prav redka. Predornina je temno sivkasto zelena; beli plagioklazovi vtrošniki steklenega sijaja ji dajejo značilno porfirsko strukturo. Osnova je holomikrokristalna.

Plagioklazi v tem različku pripadajo labradoritu oziroma andezitu; količina anortita niha namreč takole: 51,5 % (CIPW), 50 % (Niggli 1 in 2), 46 % (Niggli 3) in 40% (Barth). Barvni indeks je: 12,8 (CIPW), 11,9 (Niggli 1), 12,1 (Niggli 2), 17,5 (Niggli 3) in 18,5 (Barth).

Nigglijeve vrednosti se razlikujejo od Nigglijevih vrednosti drugih različkov le po *si* in *qz*. Komenina predstavlja prehod v dacit.

ROGOVAČNO BIOTITNI ANDEZIT OB KRIVELJSKI REKI

HORNBLENDE BIOTITE ANDESITE FROM KRIVELJSKA REKA

Tabela 21 Table 21

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Barth
SiO_2	57,58%	Q	13,8%	12,1%	12,5%	14,1%
TiO_2	0,53	or, Or	10,1	10,0	8,3	7,5
Al_2O_3	17,07	ab, Ab	31,4	34,0	34,0	34,0
Fe_2O_3	3,27	an, An	27,0	27,0	27,0	21,5
FeO	2,53	di	5,1	—	—	—
MnO	0,09	hy, Hy	6,4	2,0	2,0	1,2
MgO	2,93	En	—	8,4	0,2	—
CaO	6,61	Wo	—	2,5	—	—
Na_2O	3,58	Ho	—	—	9,3	12,9
K_2O	1,59	Bi	—	—	2,7	2,8
P_2O_5	0,13	Chl	—	—	—	1,8
S	0,01	mt, Mt	4,8	3,5	3,5	3,9
H_2O+	1,90	ti, Ru	1,1	0,3	0,3	—
H_2O-	1,30	ap, Cp	0,3	0,2	0,2	0,3
CO_2	1,14					
	100,26%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	188	ti	1,3
al	32,9	p	0,20
fm	29,2	mg	0,49
c	23,2	k	0,20
alk	14,7	π	0,39
		γ	0,13
		qz	+29

Tip magme: Kremenovo dioritni (peleeitski)
CIPW II. 4. 3. 4.

Rogovačni andezit

Geološka karta širše okolice Bora kaže, da pripadajo rogovačnemu andezitu precej večje površine kakor rogovačno biotitnemu andezitu. K rogovačnemu andezitu smo prišteli predornine, v katerih prevladujejo rogovačini vtrošniki, mimo tega pa vsebujejo tu in tam majhne vtrošnike biotita ali piroksena. Tovrstni andezit smo našli ob Kriveljski reki, ob Banjici, ob jugovzhodnem in severnem vznožju Gurgule, ob potoku Suboc, na zahodnem pobočju Kriveljskega kamna, na jugozahodnem pobočju Kraku Bugaresku, med Borom in Brestovačko banjo, mimo tega pa na Tilva Miki in Paca Mare nad Malim Kriveljem. Podrobno smo preiskali vzorce iz Kriveljske soteske in Krivelja, s severnega vznožja Gurgule, z zahodnega pobočja Kriveljskega kamna, s Paca Mare in iz Ilijevega potoka. Na drugih krajih je predornina močno preperela in delno tudi hidrotermalno spremenjena. Modalno sestavo različkov rogovačnega andezita kaže tabela 23.

ROGOVAČNO BIOTITNI ANDEZIT Z LIVADA DENKE

HORNBLENDE-BIOTITE ANDESITE FROM LIVADA DENKA

Tabela 22 — Table 22

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	62,00%	Q	22,7%	21,4%	21,4%	20,8%	23,3%
TiO_2	0,44	or, Or	7,2	7,3	7,1	6,9	7,0
Al_2O_3	17,28	ab, Ab	27,8	29,7	29,7	29,7	30,0
Fe_2O_3	3,92	an, An	29,5	29,7	29,7	25,1	19,5
FeO	1,70	C	—	—	—	—	1,7
MnO	0,056	di	0,4	—	—	—	—
MgO	2,40	hy, Hy	5,9	—	—	—	—
CaO	6,10	En	—	6,8	5,5	—	—
Na_2O	3,20	Wo	—	0,3	—	—	—
K_2O	1,16	Ho	—	—	1,1	7,7	11,1
P_2O_5	0,18	Bi	—	—	0,7	0,7	0,6
S	0,004	At, Chl	—	—	—	1,6	2,0
H_2O^+	0,97	Ka	—	—	—	2,7	—
H_2O^-	0,51	il, Ru	0,8	0,3	0,3	0,3	—
CO_2	0,11	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
		Hm	0,7	—	—	—	—
		mt, Mt	4,7	4,2	4,2	4,2	4,5
	100,03%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

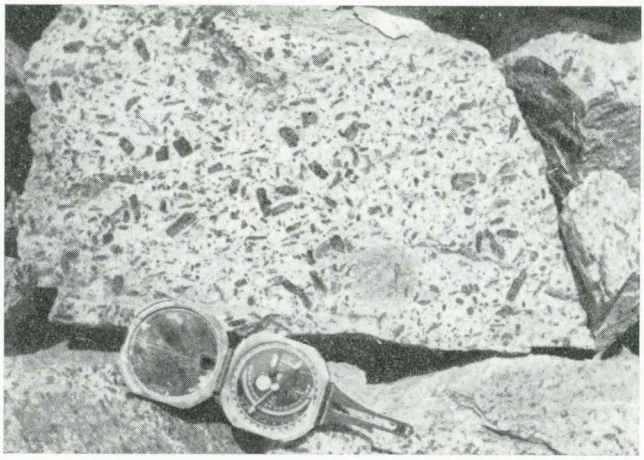
Nigglijeve vrednosti so:

si	216	p	0,2
al	35,4	ti	1,0
fm	28,2	mg	0,47
c	22,8	k	0,20
alk	13,6	π	0,41
		γ	0,13
		qz	+62

Tip magme: Kremenovo dioritni (kremenovo dioritni).
CIPW II. 4. 3. 4.

Rogovačni andezit srednjega dela Kriveljske soteske, ki se je vrinil med senonski apneni pelit in vulkansko brečo, ima izrazito porfirsko strukturo in se odlikuje z velikimi vtrošniki temno zelene rogovače (sl. 18), ki dosežejo dolžino 6 cm, povečini pa so zrna velika 1 do 2,5 cm. Poleg rogovačinih vtrošnikov vsebuje ta kamenina številne majhne plagioklazove vtrošnike in malo biotita. Akcesorne komponente so magnetit, apatit in sfen. Osnova je holomikrokristalna.

Plagioklazovi vtrošniki so povečini idiomorfni; dosežejo tu in tam velikost 5,5 mm, povprečno pa merijo le 0,9 mm x 0,4 mm. Poedinci so redki; prevladujejo dvojčki po albitskem in manebaškem zakonu, a tudi trojčki in četvorčki niso redki. Zrna so sicer conarna, vendar govori majhna razlika v kotu potemnitve posameznih con za to, da v njihovi sestavi ni posebnih razlik. Tudi povprečne sestave zrn nihajo v ozkih mejah 51 % do 56,5 % an. Majhna in velika zrna vsebujejo okrog 54% an.



Sl. 18. Veliki vtrošniki rogovače v rogovačnem andezitu iz Kriveljske soteske
Fig. 18. Large hornblende phenocrysts in the hornblende andesite from the Gorge of Krivelj

Zaradi preperevanja so nekatera plagioklazova zrna delno spremenjena v kalcit in kaolin ter so nekoliko zeolitizirana.

Značilno je, da se habitus zrn bistveno razlikuje od habitusa rogovače v drugih predorninah, npr. v rogovačno biotitnem andezitu. Razpotegnjena so vzporedno s tretjo osjo in ploščata, kristalne ploskve pa so le slabo izražene. Pod mikroskopom je rogovača zelena in ima jasen pleohroizem: Ng = travnato zelena, Nm = rumeno zelena in Np = svetlo rumeno zelena barva. Kot potemnitve niha od 15° do 19,5°, kot 2 V pa od —79° do —86°. Že na oko opazimo, da so številna rogovačina zrna, bodisi v jedru, bodisi v obodnih delih, izgubila temno zeleno barvo in sijaj, pa tudi razkolnost ni več jasna; ta zrna so spremenjena v nekoliko bolj svetlo zeleni amfibol, ki je pod mikroskopom skoraj brezbarven, le v smeri Ng je komaj zaznavno zelen. Kot potemnitve meri povprečno 14,5°, 2 V pa —88,5°. Lomni količnik je nekoliko manjši od lomnega količnika temno zelene rogovače, dvolom pa nekoliko močnejši. Tu in tam tvori ta različek radialno trakaste, pahljačaste agregate. Način nastopanja, predvsem pa optične lastnosti govore za to, da je ta sekundarni mineral aktinolit. Takšna preobrazba rogovače je dokaj pogosta. V domači literaturi jo podrobno popisuje G a g a r i n (1940); opazoval jo je v sienitu planine Ržane.

V majhni količini srečamo v zbruskih tudi biotit. Njegove prizme so dolge povprečno le 1,5 do 3 mm, medtem ko meri (001) največkrat 2 mm. Značilen pleohroizem imajo le maloštevilna zrna; biotit je namreč povečini spremenjen v klorit in kalcit.

Za kemično analizo smo izbrali vzorec iz kamnoloma v Kriveljski soteski ob poti Veliki Krivelj—Mali Krivelj.

Glede na različen način računanja niha količina anortita v plagioklazih te predornine takole: 53,5% (CIPW), 65% (Niggli 1 in 2), 61,5% (Niggli 3) in 51% an

MODALNA SESTAVA ROGOVAČNEGA ANDEZITA

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE ANDESITE

Tabela 23 Table 23

	1	2	2a	3	3a	4	5	6
Osnova	46,5%	58,0%	58,7%	53,1%	54,8%	52,4%	74,6%	69,2%
plagioklazi	31,4	28,4	28,4	32,9	34,0	26,5	15,4	18,5
rogovača	20,1	7,6	11,2	7,5	8,8	15,0	5,4	8,7
biotit	sl.	—	sl.	—	—	sl.	—	—
piroksen	—	—	—	—	—	—	—	sl.
magnetit	0,9	1,7	1,7	2,4	2,4	3,6	0,8	2,1
apatit	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	0,3	sl.	0,1
sfen	sl.	—	—	—	—	—	—	—
kalcit	0,8	2,6	—	3,6	—	sl.	3,0	sl.
zeoliti	0,3	—	—	sl.	—	2,2	0,8	1,4
kaolin	sl.	sl.	—	sl.	—	sl.	sl.	sl.
kalcedon	—	—	—	sl.	—	sl.	sl.	sl.
sericit	sl.	sl.	—	sl.	—	—	—	—
prenit	—	sl.	—	—	—	—	—	—
pirit	—	sl.	—	—	—	—	—	—
klorit	sl.	1,7	—	0,5	—	sl.	sl.	sl.
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

1. Rogovačni andezit, Kriveljska soteska
2. Rogovačni andezit, zahodno pobočje Kriveljskega kamna (sedanja sestava)
2a. Rogovačni andezit, zahodno pobočje Kriveljskega kamna (prvotna sestava)
3. Rogovačni andezit, Veliki Krivelj (sedanja sestava)
3a. Rogovačni andezit, Veliki Krivelj (prvotna sestava)
4. Rogovačni andezit, severno vznožje Gurgule
5. Rogovačni andezit, Paca Mare
6. Rogovačni andezit, Ilijev potok

(Barth). Po izračunani večji vrednosti anortita Niggli 1, 2 in 3 so plagioklazova zrna v osnovi nekoliko bolj bazična kot vtrošniki, kar je lahko posledica tega, da smo dodali plagioklazom tudi del kalcija, ki nastopa v rogovači ali v sekundarnih mineralih. Barvni indeks se spreminja v teh mejah: 15,7% (CIPW), 12,0% (Niggli 1 in 2), 19,0% (Niggli 3) in 28,1% (Barth). Vrednostim, dobljenim z integracijsko mizico se še najbolj približujejo podatki, ki smo jih dobili za modalno sestavo kamenine po metodi Bartha.

Kriveljska soteska je eden izmed krajev, kjer rogovačni andezit meji na senonski apneni pelit. Da je ta meja prvotna, dokazujeta plastovita tekstura predornine neposredno ob kontaktu in sprememba pelita. Ob kontaktu je pelit svetlo rjavkasto rumen, masiven in ima školjkast lom, drugod pa je siv in skrilav. Prehod prvotnega pelita v spremenjenega je postopen. Tu gre gotovo za kontaktne spremembe, zato bi mogli pričakovati kontaktne minerale.

V majhnem kamnolomu odkopavajo andezit prav do kontakta s pelitom. V zbruskih spremenjenega pelita s kontakta nismo našli nikakih kontaktnih mineralov. Ugotovili smo le, da so kalcitova zrna neposredno ob kontaktu nekoliko večja kakor 5, 10 in 20 cm vstran. Tudi v andezitu nismo našli novih mineralov, ki bi kazali na endogene kontaktne procese. Opazili pa smo, da

ROGOVAČNI ANDEZIT IZ KAMNOLOMA V KRIVELJSKI SOTESKI

HORNBLENDE ANDESITE FROM QUARRY IN KRIVELJSKA SOTESKA

Tabela 24 Table 24

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1 in 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	58,77%	Q	16,9%	20,5%	21,9%	23,9%
TiO_2	0,45	or, Or	12,2	12,5	12,5	12,5
Al_2O_3	18,32	ab, Ab	25,2	16,0	16,0	16,0
Fe_2O_3	3,11	an, An	29,0	29,7	25,5	16,5
FeO	2,30	C, Cord	1,0	9,3	1,1	2,1
MnO	0,07	En	—	6,4	1,8	—
MgO	3,39	hy, Hy	9,9	1,6	1,6	—
CaO	5,85	Ho	—	—	6,0	14,1
Na_2O	2,92	il, Ru	0,8	0,3	0,3	—
K_2O	2,01	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3
P_2O_5	0,13	mt, Mt	4,7	3,4	3,4	3,6
S_2	0,002	Ka	—	—	4,0	4,0
H_2O^+	2,03	At, Chl	—	—	5,6	7,0
H_2O^-	0,45					
CO_2	0,15					
	99,95%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	193	ti	0,9	
al	35,1	p	0,2	
fm	30,9	mg	0,60	Tip magme: Kremenovo dioritni
c	20,5	k	0,35	(peleeitni)
alk	13,5	π	0,47	CIPW II. 4. 3. 4.
		γ	0,10	
		qz	+39	

je njegova osnova neposredno ob kontaktu bolj drobnozrnata ter da je rogovača v bližini pelita dokaj močno kloritizirana in karbonatizirana.

Vprašamo se, zakaj nismo našli kontaktnih silikatov?

Globočnina skrepeni dokončno pri približno 600° (Barth, 1952). Tako nizko temperaturo skrepenenja omogočijo lahkohlapne komponente, ki se v zadnjih fazah kristalizacije v magmi še posebej nakopičijo. Če pa lahkohlapne sestavine pri erupciji ali zaradi prepustnosti sten zapuste magmo, se temperatura skrepenenja poveča. Iz literaturnih podatkov povzemamo, da skrepeni lava pri 1000° do 1 200° (Lovering, 1955). Če upoštevamo trditev Ziesa, da je lava vulkana Santijaguito v Guatemali pri temperaturi 700° do 725° še tekla (cit. Lovering, 1955), imamo podano najnižjo in najvišjo temperaturo, ki jo je mogel imeti rogovačni andezit pri skrepenenju. Ta temperatura bi bila zadoščala, da bi nastali v pelitu kontaktni minerali, če bi bili izpolnjeni tudi drugi pogoji.

V času preboja rogovačnega andezita je bil pelit zelo verjetno v fazi diageneze; neposredno ob stiku je predornina povzročila njegovo rekristalizacijo.

Del toplote je bil torej porabljen za rekristalizacijo, dodatno pa se je temperatura znižala v talnini zaradi prisotnosti H_2O in CO_2. Plastovita tekstura rogovačnega andezita ob meji s pelitom dokazuje, da je tekla delno skrepenela magma laminarno; zato je pri nekoliko nižji temperaturi andezit neposredno ob meji s pelitom naglo skrepenel. Skrepeneli del andezita je nato ščitil pelit pred močno metamorfozo.

Tudi na drugih krajih v timoškem eruptivnem območju je andezit le malo spremenil usedline na kontaktih. Močnejše metamorfoze, ki naj bi jih bil po avtorjih povzročil andezit, so nastale v večini primerov pod vplivom laramijskih globočnin in žilnin. Omenimo naj, da Scheumann in Schüller (1938) tudi nista našla značilnih kontaktnih mineralov v usedlinah, ki jih v zahodnem delu bolgarskega Srednegorja prebija senonski andezit.

Vulkansko brečo rogovačnega andezita prebija v Velikem Krivelju na dveh krajih rogovačni andezit. Večji preboj je sredi vasi, manjšega pa seče cesta, ki pelje v Mali Krivelj.

Predornina večjega izdanka je na oko povsem sveža. V dveh majhnih kamnolomih lomijo bloke in kose ter jih uporabljajo za gradnjo hiš. Ta izdanek je prekrit na jugozahodu in jugu z nanosom Kriveljske reke. Na vzhodu in severu je kamenina vedno bolj hidrotermalno spremenjena in končno izgubi porfirsko strukturo. Ta različek rogovačnega andezita je sivkasto zelen. Plagioklazovi vtrošniki imajo povečini idiomorfne preseke in dosežejo premere 3 do 4 mm; vsebujejo povprečno 52% an.

Zrna rogovače dosežejo dolžino 5 mm in imajo pod mikroskopom pravilne preseke. Dvojčki po (100) so zelo redki. Kot potemnitve meri povprečno 16,5°; pleohroizem je izrazit: Ng = temno zelena, Nm = zelena in Np = svetlo rumenkasto zelena barva. Številna rogovačina zrna so delno ali povsem spremenjena v klorit in kalcit.

Zrnca v mikrokristalni osnovi so preveč drobna, da bi jih mogli zanesljivo ločiti. Ker ima osnova le za spoznanje močnejši relief kakor kanadski balzam, sodimo, da sestoji večidel iz plagioklazovih zrn, ki pripadajo oligoklaz-andezinu. Sekundarni minerali osnove so zeoliti, kalcit, klorit in kalcedon. Tu in tam zapazimo tudi limonitno pego.

Različek rogovačnega andezita na zahodnem pobočju Kriveljskega kamna je podoben različku v Velikem Krivelju. To dokazuje tudi sestava plagioklazovih vtrošnikov, ki niha med 47,5 % in 54 % an.

Mikrokristalna osnova sestoji iz drobnih plagioklazovih zrn, ki imajo nekoliko manjši lomni količnik kot kanadski balzam. V nekaterih zbruskih smo našli v osnovi tudi številna zrnca sericita, klorita in kalcita, ki delno nadomeščajo plagioklazova zrnca, delno pa rogovačina. Tu in tam smo našli radialno trakaste agregate prenita.

Po podatkih analize vsebujejo plagioklazi: 51 % an (CIPW), 49,5 % an (Niggli 1 in 2), 46,5 % (Niggli 3) in 43,5 % anortita (Barth). Barvni indeks niha glede na različno preračunavanje takole: 15,0 (CIPW), 15,5 (Niggli 1), 15,7 (Niggli 2), 18,2 (Niggli 3) in 19,7 (Barth).

Nigglijeve vrednosti se močno približujejo vrednostim, ki smo jih dobili za nekatere druge vzorce rogovačno biotitnega andezita, npr. iz Livada Denke, poleg tega pa tudi Nigglijevim vrednostim, ki smo jih dobili za nekatere različke rogovačnega dacita, npr. dacitov odlomek vulkanske breče ob poti Veliki

ROGOVAČNI ANDEZIT Z ZAHODNEGA POBOČJA KRIVELJSKEGA KAMNA

HORNBLENDE ANDESITE FROM THE WESTERN SLOPE OF KRIVELJSKI KAMEN

Tabela 25 Table 25

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	59,58%	Q	17,6%	29,0%	28,8%	28,9%	17,8%
TiO_2	0,48	or, Or	8,4	6,7	6,7	6,7	8,5
Al_2O_3	17,74	ab, Ab	28,9	24,7	24,7	24,7	30,5
Fe_2O_3	2,83	an, An	30,1	24,1	24,1	21,5	23,5
FeO	2,40	di	1,5	—	—	—	—
MnO	0,08	hy, Hy	8,3	1,9	1,9	1,9	3,4
MgO	2,94	En	—	9,4	7,7	2,1	—
CaO	6,42	Wo	—	0,7	—	—	—
Na_2O	3,35	Ho	—	—	2,6	7,7	8,9
K_2O	1,33	ap, Cp	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
P_2O_5	0,13	il, Ru	0,7	0,3	0,3	0,3	—
S	0,01	mt, Mt	4,2	3,0	3,0	3,0	3,3
H_2O+	1,31	At, Chl	—	—	—	1,6	3,8
H_2O-	0,62	Ka	—	—	—	1,4	—
CO_2	0,99						
	100,21%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	200	ti	1,1
al	34,7	p	0,2
fm	28,7	mg	0,54
c	23,0	k	0,21
alk	13,6	π	0,41
		γ	0,12
		qz	+45,5

Tip magme: Kremenovo dioritni (peleeitni)
CIPW II. 4. 3. 4.

Krivelj—Gornjane. Sorazmerno visok *si* in *qz* nam dovoljujeta, da štejemo to predornino k prehodnemu tipu med andezitom in dacitom.

Ob poti Veliki Krivelj — Božina reka se rogovačni andezit razteza od severnega pobočja Gurgule do Tilva Pasku, tj. skoraj na dolžini 3 km. Proti zahodu in jugozahodu meji na senonski peščenjak, proti severu in severovzhodu pa na albijski peščenjak. Na jugovzhodnem pobočju kote 773 m je erozija razgalila kontakt andezita s senonskim peščenjakom. Ob kontaktu sta obe kamenini močno zdrobljeni, kontaktnih sprememb pa nismo našli.

Andeziti tega območja so svetlo sivi in svetlo sivkasto zeleni. Megaskopsko vidimo le vtrošnike plagioklazov in rogovače; plagioklazovi vtrošniki merijo povprečno 0,4 do 0,7 mm in vsebujejo 45 % an, rogovačini pa so malo večji.

Sekundarni minerali, predvsem zeoliti, klorit in kalcit, nastopajo v manjših nepravilnih poljih ali pa tvorijo kot las tanke žilice.

Kemično sestavo rogovačnega andezita s severozahodnega pobočja Gurgule kaže tabela 26.

ROGOVAČNI ANDEZIT S SEVEROZAHODNEGA POBOČJA GURGULE

HORNBLENDE ANDESITE FROM THE NORTHWESTERN SLOPE OF GURGULA

Table 26

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	58,20%	Q	10,5%	10,1%	10,1%	9,7%	11,6%
TiO_2	0,55	or, Or	10,2	10,0	10,0	10,0	10,0
Al_2O_3	18,63	ab, Ab	35,9	37,7	37,7	37,7	37,5
Fe_2O_3	2.86	an, An	28,3	28,0	28,0	22,2	14,0
FeO	2,78	C	—	—	—	—	0,2
MnO	0,06	di	0,2	—	—	—	—
MgO	2,82	hy, Hy	10,9	2,4	2,4	2,4	—
CaO	5,78	En	—	8,0	7,8	0,1	—
Na_2O	4,12	Wo	—	0,1	—	—	—
K_2O	1,68	Ho	—	—	0,3	9,4	15,1
P_2O_5	0,18	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
S	0,006	il, Ru	1,1	0,4	0,4	0,4	—
H_2O^+	2,00	mt, Mt	2,6	3,0	3,0	3,0	3,4
H_2O^-	0,54	At, Chl	—	—	—	2,0	4,9
CO_2	0,07	Ka	—	—	—	2,8	3,0
	100,28%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	188	ti	1,3
al	35,6	p	0,2
fm	28,2	mg	0,49
c	19,9	k	0,21
alk	16,3	π	0,32
		γ	0,14
		qz	+23

Tip magme: Kremenovo dioritni (peleeitni)
CIPW II. 5. 3. 4.

Po podatkih analize vsebujejo plagioklazi: 44 % an (CIPW), 43 % (Niggli 1 in 2), 37 % (Niggli 3) in 27,5 % an (Barth). Barvni indeks je: 15,1 (CIPW), 14,2 (Niggli 1 in 2), 17,6 (Niggli 3) in 23,7 (Barth).

Značilno je, da ima ta predornina manjši *si* in *qz* kakor andezit na zahodnem pobočju Kriveljskega kamna, vendar bolj kisle plagioklaze.

Do sedaj popisani rogovačni andeziti nastopajo vzhodno od borskega pelita, tj. vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Geološka karta pa kaže, da so enake kamenine močno razširjene tudi zahodno od te črte, in sicer na Kormarošu, Tilva Miki, Paca Mare in Čoka Stanu. Na tem območju vulkanska breča prekriva rogovačni andezit .

Vulkansko brečo najdemo ponekod precej visoko, npr. na vrhu Paca Mare, v njeni talnini pa je rogovačni andezit; zato domnevamo, da je nekoliko mlajši

piroklastični material prekril nekoliko starejše izlive. Dodamo naj, da smo našli manjše preboje rogovačnega andezita v piroklastitih tudi med Borom, Brestovcem in Brestovačko banjo.

Čeprav se rogovačni andeziti iz različnih krajev po barvi nekoliko razlikujejo, imajo vendarle nekatere skupne lastnosti, ki jih opazimo že na oko; povečini so plagioklazovi vtrošniki sorazmerno majhni, saj redko presežejo 4 mm, prav tako tudi rogovačni. Oboji nastopajo v manjših količinah kakor v andezitih vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole (tabela 23). Medtem ko so plagioklazova zrna pogosto močno preperela in na presekih nimajo več steklastega sijaja, so rogovačina zrna navadno sveža.

Plagioklazovi vtrošniki v različku z jugovzhodnega pobočja Paca Mare vsebujejo povprečno 54 % an, v različku ob zgornjem toku Ilijevega potoka pa 60% an.

Piroksenov andezit

V piroklastičnih kameninah zahodno od Bora in Malega Krivelja najdemo temno sivkasto zelene, ponekod skoraj črne predornine, ki prebijajo tu in tam tudi borski pelit. Ker vsebujejo zelo drobne vtrošnike, smo ugotovili šele pod mikroskopom, da gre za piroksenov, piroksenovo rogovačni in rogovačno piroksenov andezit. Nekatere različke iz okolice Brestovačke banje sta popisala Tomić (1931) in Ilić (1953/54), iz bližine Bora pa Marić (1957).

Med temnimi jedrimi predorninami prevladuje piroksenov andezit. Našli smo ga na vzhodnem pobočju Čoka Stan, ob Ilijevem potoku, na Čoka Bare, zahodno od Trnjane, ter na pobočju Prvulovega brda in Čoka Boruluj. Na oko vidimo v teh predorninah le do 2,5 mm velike vtrošnike plagioklazov, ki imajo steklen sijaj ter majhne temno zelene do olivno zelene femične vtrošnike. Z lupo opazimo tudi zrnca magnetita.

Pod mikroskopom vidimo, da imajo ti andezitski različki hipokristalno porfirsko strukturo. Med vtrošniki močno prevladujejo plagioklazova zrna. Po količini jim slede pirokseni, medtem ko je rogovačinih zrn prav malo. Akcesorni komponenti sta magnetit in apatit. Največji del piroksenovega andezita ima hialopilitsko osnovo (tab. III, sl. 2), le v osamljenih vzorcih smo našli pilotaksitsko osnovo. Njegovo modalno sestavo kaže tabela 27.

Plagioklazovi vtrošniki imajo navadno idiomorfne preseke, so dvojčični in conarni. Prevladujejo zrna, ki merijo od 0,1 do 1 mm; plagioklazi s premeri nad 1,7 mm so redki.

S Fedorovo mizico smo izmerili številna plagioklazova zrna iz različnih prebojev in našli, da pripadajo povečini labradoritu in bitovnitu, redko pa anortitu.

Vtrošniki vsebujejo zelo pogosto vključke svetlo rjavega stekla, ki so navadno razporejeni vzdolž con.

Kot kažejo modalne sestave, je množina piroksenov precej stalna. V zbruskih smo ločili dve vrsti piroksenovih vtrošnikov; prevladujejo zrna klinopiroksena, ki se jim pridružujejo zrna ortopiroksena. Teh različkov pri integracijski analizi nismo mogli ločiti. Zato podajamo v modalnih sestavah njuno skupno vrednost. Zrna klinopiroksena in ortopiroksena merijo poprečno 0,25 mm x 0,25 mm, so povečini idiomorfna, le kadar se združujejo v skupke, so

MODALNA SESTAVA PIROKSENOVEGA ANDEZITA

MODE COMPOSITION OF PYROXENE ANDESITE

Tabela 27 Table 27

	1	2	3	4	5	6
Osnova	50,2 %	51,3 %	57,6 %	48,3 %	50,3 %	42,4 %
plagioklazi	30,8	29,6	24,2	31,9	32,6	37,5
avgit hipersten	13,8	14,3	14,5	15,4	13,1	15,2
rogovača	—	—	—	sl.	0,3	0,3
magnetit	5,1	4,7	3,6	4,3	3,7	4,4
apatit	0,1	0,1	0,1	0,1	sl.	sl.
klorit	sl.	sl.	—	—	sl.	—
zeoliti	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	0,2
kaolin	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.
kalcedon	sl.	—	—	sl.	—	sl.
	100,0 %	100,0 %	100,0%	100,0 %	100,0 %	100,0 %

1. Piroksenov andezit, Ilijev potok, večji izdanek
2. Piroksenov andezit, Ilijev potok, manjši izdanek
3. Piroksenov andezit, preboj W od Čoka Bare ob poti Bor—Crni vrh
4. Piroksenov andezit, preboj v borskem pelitu, SE od Čoka Bare
5. Pirkosenov andezit, preboj ob progi Bor—Crni vrh na pobočju Prvulovega brda
6. Piroksenov andezit, preboj nad transformatorsko postajo (pri 3. km).

delno nepravilna. Klinopiroksenova zrna so rahlo svetlo zelena. Njihov pleohroizem v večini primerov ni zaznaven.

OPTIČNE LASTNOSTI AVGITOVIH ZRN V PIROKSENOVEM ANDEZITU

OPTICAL PROPERTIES OF AUGITE PHENOCRYSTS FROM PYROXENE ANDESITE

Tabela 28 Table 28

Ng—Np	Ng—Nm	Nm—Np	2 V	∢ Ng [001]
0,0219	—	—	—	43°
0,0216	0,0165	0,0049	59°	—
0,0229	0,0184	0,0045	53°	—
0,0215	0,0162	0,0053	60°	—
0,0220	—	—	—	43,5°
0,0258	—	—	—	43°

Srednja vrednost dvoloma: Ng—Np = 0,0226, Ng—Nm = 0,0170, Nm—Np = 0,0049. Kot 2 V = 57,5° in kot potemnitve = 43°, kar dokaj ustreza podatkom za avgit, ki jih najdemo v literaturi.

Vtrošniki ortopiroksena, ki pripadajo hiperstenu, pravilno potemnijo. Pleohroizma zrna ne kažejo. Vrednost 2 V niha v mejah od 58,5° do 71,5° s povprečjem 66°. Nekatera hiperstenova zrna obdaja avreola avgita, kar dokazuje, da je reakcijska serija potekala normalno: najprej je nastal ortopiroksen in nato klinopiroksen.

Rogovačni vtrošniki so močno resorbirani in ob robovih spremenjeni v drobnozrnati agregat plagioklazov, piroksenov in magnetita. Ta zrna predstavljajo reakcijske produkte sistema rogovača-talina; nastala so iz rogovače v obdobju, ko se je v magmi zmanjšala količina vode. To se je dogajalo pri večkratni praznitvi magminega rezervoarja, ko je nekoliko popustil pritisk, ali pa v eni izmed zadnjih faz kristalizacije te prodornine.

Hialopilitska osnova sestoji iz stekla in številnih drobnih plagioklazovih, piroksenovih in magnetitovih mikrolitov.

V predornini zahodno od Čoka Bare zasledimo tu in tam do 5 mm velike črne vključke. Pod mikroskopom smo dognali, da predstavljajo ti vključki vulkansko steklo, ki vsebuje idiomorfna plagioklazova, piroksenova in magnetitova zrna (tabla III, sl. 3).

Za kemično analizo smo izbrali predornino iz preboja SE od Čoka Bare.

PIROKSENOV ANDEZIT JUGOVZHODNO OD ČOKA BARE

PYROXENE ANDESITE SOUTH-EAST OF ČOKA BARE

Tabela 29 — Table 29

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1.	Niggli 2.	Barth
SiO_2	51,20%	Q	7,8%	7,2%	7,2%	10,3%
TiO_2	0,87	or, Or	5,6	5,7	5,7	5,5
Al_2O_3	17,92	ab, Ab	16,7	18,1	18,1	18,0
Fe_2O_3	4,03	an, An	41,2	39,1	39,1	33,0
FeO	3,87	C	—	—	—	1,1
MnO	0,12	di, Di	10,6	—	12,7	17,0
MgO	4,98	hy, Hy	10,4	3,6	3,6	6,5
CaO	10,85	En	—	14,6	8,0	—
Na_2O	1,96	Wo	—	6,5	—	—
K_2O	0,93	Ho	—	—	0,4	—
P_2O_5	0,19	ap, Cp	0,1	0,3	0,3	0,3
S	0,01	il, Ru	1,6	0,6	0,6	—
H_2O^+	2,05	mt, Mt	6,0	4,3	4,3	5,0
H_2O^-	1,14	Chl	—	—	—	3,3
CO_2	0,22					
	100,34%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	133	p	0,15
al	27,4	ti	1,7
fm	36,0	mg	0,55
c	30,2	k	0,24
alk	6,4	π	0,62
		γ	0,20
		qz	+7

Tip magme: Levkogabroidni (belugitsko-ossipitski)
CIPW II. 5. 4. 4.

Glede na različne načine preračunavanja modalne sestave vsebujejo plagioklazi: 71% an (CIPW), 68,5% an (Niggli 1 in 2) in 66% an (Barth). Barvni indeks niha takole: 28,7 (CIPW), 29,9 (Niggli 1 in 2) in 32,1 (Barth).

Kemična analiza kaže, da moremo prištevati to predornino k skupini najbolj bazičnih andezitov širše okolice Bora. Njena sestava se močno približuje Tomićevima piroksenovima andezitoma iz Sumrakovca in Zlota, Iličevemu andezitbazaltu iz okolice Brestovačke banje in Maričevemu piroksenovemu andezitu z jugozahodnega pobočja Prvulovega brda. Nigglijeve vrednosti tega različka so skoraj enake Nigglijevim vrednostim Tomićevih vzorcev iz okolice Sumrakovca in Zlota (M a r i č, 1957, priloga: pregled kemičnih analiz). Razlika je le v tem, da ima naš različek še pozitivno vrednost *qz*, Tomićeva vzorca pa negativno.

Dodamo naj, da smo pri mikroskopskih preiskavah piroksenovega andezita posebej iskali olivinova zrna, vendar jih nismo našli.

Piroksenovo rogovačni in rogovačno piroksenov andezit

Po barvi in velikosti vtrošnikov delimo ti dve vrsti andezitnih različkov v dve skupini.

1. K prvi skupini štejemo temno sive, skoraj črne jedre predornine z majhnimi vtrošniki. Na pogled so podobne piroksenovemu andezitu; razlikujejo se od njega po tem, da zasledimo v njih pod mikroskopom mimo drobnih plagioklazovih in piroksenovih vtrošnikov tudi vtrošnike rogovače.

2. V drugo skupino uvrščamo svetlo sive in sivkasto zelene različke, ki vsebujejo do 7 mm velike piroksene in do 12 mm velike rogovače. Plagioklazi pa merijo največ 2,5 mm. Na oko zapazimo v teh predorninah tudi osamljena magnetitova zrnca.

Enako kakor piroksenov andezit nastopajo andezitovi različki prve skupine le zahodno od Bora, različki druge skupine pa tudi vzhodno od tod, npr. v okolici Velikega Krivelja.

Modalno sestavo teh andezitov podajamo v tabeli 30.

Piroksenovo rogovačni andezit prve skupine opazujemo predvsem na Prvulovem brdu. Ta andezit ima pod mikroskopom izrazito hipokristalno porfirsko strukturo. V hialopilitski osnovi nastopajo vtrošniki plagioklazov (bitovnit), piroksen, rogovače ter drobna zrna magnetita in apatita.

Piroksenovi vtrošniki vsebujejo poleg drobnih magnetitovih kristalov ponekod tudi ksenomorfna rogovačina zrna. Zato sklepamo, da je rogovača kristalila delno že pred piroksenom. Te, starejše rogovačine vtrošnike je v določeni fazi magminega razvoja delno nadomestil piroksen.

Količine plagioklazovih, piroksenovih in rogovačinih vtrošnikov v piroksenovo rogovačnem andezitu druge skupine so skoraj enake. Hiperstena nismo našli. Nadrobno smo raziskali predornino ob zgornjem delu Borske reke in ugotovili tudi njeno modalno sestavo (tabela 30). V tej kamenini merijo plagioklazovi vtrošniki povečini le 0,6 mm in vsebujejo povprečno 73% an. Avgitova zrna so conarna; srednji deli so skoraj brezbarvni in imajo kot potemnitve 43°, obodni deli pa so svetlo zeleni s kotom potemnitve 45°. Rogovačini vtrošniki kažejo naslednji pleohroizem: Ng = olivno zelena, Nm = rjavkasto zelena, in Np = svetlo rjavkasto zelena barva. Osnova je holomikrokristalna. Pri preperevanju so nastali številni sekundarni minerali.

Piroksenovo rogovačni andezit z izdanka nad Todorovim potokom je popisal že M a r i ć (1957). Kamenina vsebuje vtrošnike labradorita, bitovnita, avgita

MODALNA SESTAVA PIROKSENOVO ROGOVAČNEGA IN ROGOVAČNO PIROKSENOVEGA ANDEZITA

MODE COMPOSITION OF PYROXENE-HORNBLENDE AND HORNBLENDE-PYROXENE ANDESITES

Tabela 30 Table 30

	1	2	3	4
Osnova	61,2 %	56,4 %	60,3	60,5
plagioklazi	22,6	14,3	24,2	20,6
avgit	8,8	12,8	3,5	3,1
hipersten	sl.	—	sl.	—
rogovača	4,9	11,2	8,3	11,5
magnetit	2,5	3,9	3,7	3,3
apatit	sl.	0,2	sl.	0,1
klorit	sl.	sl.	sl.	—
kalcit	—	1,2	—	sl.
kalcedon	—	sl.	sl.	—
kaolin	sl.	sl.	sl.	sl.
zeoliti	sl.	sl.	sl.	0,9
albit	—	—	—	sl.
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

1. Piroksenovo rogovačni andezit, vrh Prvulovega brda
2. Piroksenovo rogovačni andezit, zgornji del Borske reke
3. Rogovačno piroksenov andezit, vznožje Tilva Mik
4. Rogovačno piroksenov andezit, Borski potok.

in rogovače. Nigglijeve vrednosti govore za levkotonalitski (kremenovo dioritni) tip magme.

Značilen predstavnik rogovačno piroksenovega andezita prve skupine je predornina, ki prebija vulkansko brečo ob vzhodnem vznožju Tilva Mik; pod mikroskopom ima hipokristalno porfirsko strukturo in hialopilitsko osnovo.

Plagioklazovi vtrošniki merijo povprečno le nekaj desetink mm, največji dosežejo 3 mm. Zrna so dvojčična in conarna. Vzdolž con vsebujejo majhne vključke svetlo rjavega stekla. Količina anortita niha od 50 % do 63,5 %.

Rogovačini vtrošniki imajo nekoliko večje premere kakor plagioklazovi; našli smo namreč tudi zrna, ki so merila 4,5 mm. Kot potemnitve niha med 11^0 in 16^0.

Piroksene zastopata hipersten in avgit; prevladuje avgit v skupkih po 4 do 7 zrn, hipersten pa se javlja v osamljenih zrnih. Rogovača sestavlja nekajkrat tudi avreolo piroksenovih zrn, zato sklepamo, da je nastala delno že pred pirokseni, v glavnem pa šele po njihovi kristalizaciji.

Hialopilitska osnova sestoji iz stekla in plagioklazovih, rogovačinih, piroksenovih in magnetitovih mikrolitov. V njej zasledimo tudi zeolite, klorit in kalcedon.

Preboje rogovačno piroksenovega andezita druge skupine smo našli ob Borskem potoku, na grebenu Balta Djoni, na južnem pobočju Prvulovega brda in ob Ilijevem potoku. Njihove femične komponente so sveže, plagioklazi pa so navadno močno prepereli.

Plagioklazovi vtrošniki so še najbolj sveži v predornini, ki je prebila vulkansko brečo ob zgornjem delu Borskega potoka. Andezit je svetlo sivo zelen ter vsebuje mimo plagioklazovih in rogovačinih vtrošnikov osamljene vtrošnike piroksenov ter zrnca magnetita in apatita. Vsebina anortita v plagioklazih niha med 65,5 % in 83,5 %. Andezit ima značilno porfirsko strukturo, osnova pa je mikrokristalna s prehodom v kriptokristalno.

Piroksenovo biotitni andezit

Nekaj sto metrov južno od poti Kornjet Petko—Vidzurin najdemo v piroklastičnih kameninah rogovačnega dacita dva preboja temno zelene predornine. Na oko opazimo v njej sorazmerno majhne vtrošnike piroksena. Kamenina je povsem slična jedremu temnemu piroksenovemu in piroksenovo rogovačnemu andezitu zahodno od Bora.

Pod mikroskopom imata kamenini z obeh izdankov značilno porfirsko strukturo (tabla IV, sl. 1). V holomikrokristalni osnovi smo našli poleg vtrošnikov plagioklazov in piroksena tudi vtrošnike biotita ter zrnca magnetita in apatita.

Modalna sestava kaže, da prevladujejo vtrošniki plagioklazov (tabela 31), ki so conarno zgrajeni. Večja zrna pripadajo bitovnitu z 80 % an, manjša bitovnitu s povprečno 71 % an, periferne cone pa celo labradoritu, ki vsebuje le 65 % an.

Avgitovi vtrošniki so povprečno veliki 0,8 mm x 0,3 mm. Pogosto so conarni, v številnih zrnih pa opazujemo strukturo peščene ure. Kot potemnitve se spreminja od 42° do 44,5°, s srednjo vrednostjo 43,5°. Kot 2 V niha od 56,5° do 64°, povprečno pa meri 58,5°. Biotit je prisoten v vseh zbruskih, vendar ga je malo.

MODALNA SESTAVA PIROKSENOVO BIOTITNEGA ANDEZITA

MODE COMPOSITION OF PYROXENE-BIOTITE ANDESITE

Tabela 31 Table 31

	1	2
osnova	40,2 %	50,1 %
plagioklazi	29,9	25,8
piroksen	20,2	15,7
biotit	2,6	2,4
magnetit	6,8	5,6
apatit	0,3	0,4
zeoliti	sl.	sl.
klorit	sl.	sl.
	100,0 %	100,0 %

1. predornina z večjega izdanka
2. predornina z manjšega izdanka

Iz analize izračunan plagioklaz vsebuje 61,5 % (CIPW), 60,5 % (Niggli 1 in 2) in 52,3 % anortita (Barth). Barvni količnik se spreminja od 30,4 (CIPW) do 34.0 (Barth). Medtem ko pokaže modalna sestava, dobljena po metodi Niggli-

PIROKSENOVO BIOTITNI ANDEZIT VZHODNO OD KORNJET PETKO

PYROXENE-BIOTITE ANDESITE EAST OF KORNJET PETKO

Tabela 32 Table 32

Kemična analiza Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Barth
SiO_2	50,00%	Q	2,6%	2,7%	3,2%	3,9%
TiO_2	0,83	or, Or	15,1	15,5	13,8	12,5
Al_2O_3	18,21	ab, Ab	19,9	21,6	21,6	22,6
Fe_2O_3	5,97	an, An	32,0	33,0	33,0	24,5
FeO	3,43	C	—	—	—	2,5
MnO	0,10	di, Di	15,0	—	15,4	22,0
MgO	4,34	hy, Hy	4,2	8,3	1,3	—
CaO	10,56	En	—	3,3	1,1	—
Na_2O	2,31	Wo	—	7,7	—	—
K_2O	2,45	Bi	—	—	2,7	2,8
P_2O_5	0,37	ap, Ap	0,9	0,9	0,9	0,8
S	0,005	mt, Mt	8,8	6,5	6,5	6,9
H_2O^+	1,24	il, Ru	1,5	0,5	0,5	—
H_2O^-	0,31	Chl (1)	—	—	—	1,5
CO_2	0,07					
	100,19%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	125	k	0,39
al	26,8	mg	0,55
fm	34,9	ti	1,5
c	28,7	p	0,4
alk	9,6	π	0,48
		γ	0,25
		qz	—13

Tip magme: Levkogabroidni (belugitski)
CIPW II. 5. 4. 3.

ja, nekoliko premalo *Di* (zato pa ustrezne količine *Hy* in *En*), se količina te femične komponente, ki smo jo dobili po Barthu, dokaj dobro ujema z izmerjeno vrednostjo.

Dodati moramo, da je piroksenovo biotitni andezit zelo redka kamenina ne le v okolici Bora, temveč na vsem magmatskem območju. Do sedaj smo našli le ta dva izdanka, ki prebijata piroklastične kamenine rogovačnega dacita vzhodno od Kornjet Petko.

Rogovačno biotitni dacit

Poleg andezitov opazujemo tu in tam tudi predornine, ki vsebujejo poleg vtrošnikov plagioklazov, rogovače in biotita tudi vtrošnike kremena. Glede na njihovo mineralno in kemično sestavo smo jih prišteli k dacitu.

Dacit se po sestavi in velikosti vtrošnikov zelo približuje timocitu. Vendar so za dacit značilni nekoliko večji, enakomerno razviti plagioklazovi vtrošniki in še posebej vtrošniki kremena. Do sedaj je bil znan le preboj dacita v bližini Čoka Robule. Omenil ga je že Clar (njegov andezit tipa »Robule potok«), na-

drobno pa ga je popisal Marić (1957). Južno in jugovzhodno od Čoka Robule smo našli še tri preboje rogovačno biotitnega dacita; prvega seče železniška proga Vražogrnac—Bor, druga dva pa sta ob potoku Rudjevica. Vsi štirje prebijajo piroklastične kamenine rogovačno biotitnega andezita. Nadaljnje dacitne preboje najdemo v dolini Kriveljske reke SE od Velikega Krivelja. Tamkaj prebijajo senonski apneni pelit na pobočju Koste Ilije, piroklastite rogovačnega andezita (v spodnjem delu potoka Kalafir), nastopajo pa tudi v metamorfno spremenjenem pelitu (Kostin potok).

Rogovačno biotitni dacit smo našli še na severnem pobočju Tilva Njalt in na južnem pobočju Kriveljskega kamna ter v borski jami.

Marić (1957) je po kemični sestavi predornino v bližini Čoka Robule prištel k skupini pravih natrijsko kalcijskih dacitov; magmatski tip je kremenovo dioritni (levkopeleeitni). Bloke dacita z enako sestavo je našel tudi v suhem koritu Borske reke pod topilnico. Ti bloki naj bi izvirali iz preboja nekje v bližini.

Ob izsušenem koritu Borske reke med površinskim kopom Tilva Mika in Borskim potokom nahajamo številne kose timocita in dacita, predvsem pa kose ter bloke timocitove in dacitove vulkanske breče. Levo in desno pobočje dolinice Borske reke sta namreč prekrita z jalovino, ki so jo odkopavali na površinskem kopu Čoka Dulkan in tu odlagali do leta 1949. Ker nastopata timocitova in dacitova vulkanska breča na istih etažah, so ju istočasno odkopavali in seveda tudi odlagali. Dacitovi bloki ob izsušenem koritu Borske reke izvirajo najbolj verjetno s površinskega kopa Čoka Dulkan. Tudi v Starem Boru (Bor-Selu) nismo našli dacitovega preboja, temveč le njegove piroklastične kamenine.

V nadaljnjem bomo podrobno popisali le različke dacita, v katerih smo mogli zanesljivo izmeriti plagioklaze. To je dacit z Rudjevice, s pobočja Kosta Ilije, s Kriveljskega kamna in iz rudnika Bor.

Ob potoku Rudjevica smo našli dva dacitova preboja. Za kamenini obeh izdankov so značilni sorazmerno veliki vtrošniki plagioklazov in kremena.

Conarno zgrajeni plagioklazovi vtrošniki dosežejo premer 1 cm in pripadajo andezitu s 45 % do 47 % an. Femični komponenti predstavljata svež biotit in preperela rogovača. Kremenova zrna so močno resorbirana (tabla IV, sl. 2). Veliki beli plagioklazovi in črni biotitovi vtrošniki dajejo kamenini, ki je sicer svetlo sivkasto rjava, značilno porfirsko strukturo. Modalno sestavo kamenine podajamo v tabeli 33, kemično pa v tabeli 34.

Preračunani plagioklazi pripadajo andezinu in vsebujejo: 42,5 % (CIPW), 41,5% (Niggli 1 in 2; zaradi premajhne količine *Fo* vrednosti Niggli 3 nismo mogli izračunati) in 41,5 % an (Barth). Ker so femične komponente, predvsem rogovača, močno preperele, ni mogoče podati barvnega indeksa.

Po modalni sestavi in kemični analizi smo to predornino uvrstili v skupino dacita. Izračunane Nigglijeve vrednosti se še najbolj približujejo vrednostim, ki jih podaja Marić (1957) za dacit z izdanka južno od Borskega potoka (Clarov andezit tipa »Robule potok«). Od drugih predornin pa se loči po visoki vrednosti *si* in *qz*.

Ob poti Krivelj—Donja Bela reka smo našli na vznožju Kosta Ilije skoraj 150 m dolg ozek izdanek svetlo sivega dacita, ki vsebuje do 9 mm velike vtrošnike plagioklazov, do 2,5 cm velike rogovače, številne biotitove vtrošnike in

MODALNA SESTAVA ROGOVAČNO BIOTITNEGA DACITA

MODE COMPOSITION OF HORNBLENDE-BIOTITE ANDESITE

Tabela 33 Table 33

	1	1a	2	2a	3	3a
Osnova	47,8 %	45,9 %	55,7 %	54,0 %	65,1 %	64,2 %
plagioklazi	33,8	34,5	20,7	21,2	24,0	24,0
rogovača	7,5	—	12,5	—	7,9	7,9
biotit	6,1	5,9	5,5	5,3	1,5	—
kremen	4,1	4,0	4,0	4,0	0,8	1,1
magnetit	0,7	0,7	1,6	1,6	0,7	0,7
apatit	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.
sfen	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.	sl.
klorit	—	9,0	—	13,9	—	2,1
kalcit	—	sl.	—	sl.	—	—
zeoliti	—	sl.	—	sl.	—	—
kaolin	—	sl.	—	sl.	—	sl.
epidot	—	—	—	—	—	sl.
limonit	—	sl.	—	sl.	—	—
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0%	100,0 %	100,0 %

1. Prvotna sestava dacita spodnjega izdanka ob potoku Rudjevica
   Original composition of the dacite from the lower outcrop near Rudjevica brook.
1a. Sedanja sestava dacita spodnjega izdanka ob potoku Rudjevica
   Actual composition of the dacite from the lower outcrop near Rudjevica brook.
2. Prvotna sestava dacita zgornjega izdanka ob potoku Rudjevica
   Original composition of the dacite from the upper outcrop near Rudjevica brook.
2a. Sedanja sestava dacita zgornjega izdanka ob potoku Rudjevica
   Actual composition of the dacite from the upper outcrop near Rudjevica brook.
3. Prvotna sestava dacita na Kriveljskem kamnu.
   Original composition of the dacite from Kriveljski Kamen
3a. Sedanja sestava dacita na Kriveljskem kamnu.
   Actual composition of the dacite from Kriveljski Kamen

do 1,5 cm velike kremenove vtrošnike. Struktura kamenine je porfirska, medtem ko je osnova mikrokristalna. Predornina prebija apneni pelit Kosta Ilije.

Med vtrošniki močno prevladujejo plagioklazi. Njihova zrna imajo idiomorfne preseke in vsebujejo 41 % do 49 % an.

Najmanjša plagioklazova zrnca, ki jih ravno še moremo prepoznati, so ponekod idiomorfna, ponekod ksenomorfna in imajo v primerjavi s kanadskim balzamom slabo negativen relief; zelo verjetno gre za oligoklaz. Med njimi zasledimo zrnca pravokotnih presekov, ki niso conarna, in pravilno potemne; najbolj verjetno predstavljajo sanidin.

Bipiramidalni kremenovi vtrošniki dosežejo v tej predornini največje premere v predorninah okolice Bora. Veliki so celo do 1,5 cm.

Pelit na južnem pobočju Kosta Ilije je ob dacitu kontaktno spremenjen. V kontaktni coni, ki meri navadno le nekaj cm, zasledimo predvsem številna

ROGOVAČNO BIOTITNI DACIT IZ ZGORNJEGA IZDANKA OB RUDJEVICI

HORNBLENDE-BIOTITE DACITE FROM THE UPPER OUTCROP NEAR RUDJEVICA BROOK

Tabela 34 — Table 34

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1.	Niggli 2.	Barth
SiO_2	62,10%	Q	27,9%	25,6%	25,1%	28,0%
TiO_2	0,40	or, Or	8,9	9,0	5,7	3,5
Al_2O_3	16,81	ab, Ab	28,4	30,5	30,5	30,5
Fe_2O_3	2,81	an, An	21,1	21,5	21,5	21,5
FeO	1,84	C	2,8	3,1	—	—
MnO	0,07	En	—	5,6	—	—
MgO	1,89	Hy	5,4	0,9	0,9	—
CaO	5,62	Bi	—	—	5,3	5,3
Na_2O	3.17	At, Chl	—	—	3,4	4,7
K_2O	1,47	Ka	—	—	3,8	3,0
P_2O_5	0,14	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3
S	0,003	il, Ru	0,8	0,3	0,3	—
H_2O+	1,47	mt, Mt	4,4	3,2	3,2	3,2
H_2O-	0,85					
CO_2	1,54					
	100,18%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Pri preračunavanju smo upoštevali, da kamenina vsebuje sekundarni kalcit. Zato smo glede na 1,54 % CO_2 ustrezno zmanjšali količino CaO.

Nigglijeve vrednosti so:

si	248	ti	1,15
al	39,7	p	0,23
fm	26,0	mg	0,48
c	18,2	k	0,16
alk	16,1	π	0,37
		qz	+84

Tip magme: Granodioritski (levkotonalitski)
CIPW I. 4. 3. 4.

zrnca epidota in granata, tu in tam tudi pirit. Malahitove in azuritove prevleke ter impregnacije kažejo, da je nastopal v kontaktnem pasu prvotno tudi bakrov sulfid, najbolj verjetno halkopirit. Ob tankih dacitovih apofizah, ki se širijo iz preboja v pelit, nismo našli nikakih sprememb.

Dacit na zahodnem in južnem pobočju Kriveljskega kamna meji s prelomoma na senonski (proti zahodu) in albijski peščenjak (proti vzhodu). Kontaktnih sprememb v teh peščenjakih ni opaziti.

Kamenina ima sicer enako mineralno sestavo kakor do sedaj popisani različki dacita, toda manjše vtrošnike plagioklazov, kremena, predvsem pa femičnih komponent. Njegova osnova je holomikrokristalna s prehodom v kriptokristalno.

Plagioklazovi vtrošniki tudi v tej predornini močno prevladujejo nad ostalimi. Pripadajo andezinu z 42 % an. Modalno sestavo tega dacita podajamo v tabeli 33, kemično pa v tabeli 35.

DACIT S SEDLA MED KRIVELJSKIM KAMNOM IN TILVA NJALT

DACITE FROM THE PASS BETWEEN KRIVELJSKI KAMEN AND TILVA NJALT

Tabela 35 — Table 35

Kemična analiza / Chemical analysis			CIPW	Niggli 1	Niggli 2	Niggli 3	Barth
SiO_2	59,88%	Q	14,9%	14,1%	13,9%	14,4%	15,6%
TiO_2	0,59	or, Or	15,0	15,1	15,1	15,1	15,0
Al_2O_3	16,69	ab, Ab	33,1	34,8	34,8	34,8	35,0
Fe_2O_3	4,45	an, An	21,7	21,6	21,6	18,1	13,5
FeO	1,84	di	7,8	—	—	—	—
MnO	0,08	En	—	8,0	6,0	0,2	—
MgO	2,74	Wo	—	0,8	—	—	—
CaO	4,87	Ho	—	—	3,0	8,5	10,5
Na_2O	3,89	h	1,6	—	—	—	—
K_2O	2,44	mt, Mt	4,4	4,9	4,9	4,9	5,1
P_2O_5	0,18	ap, Cp	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
H_2O+	1,53	il, Ru	1,2	0,4	0,4	0,4	—
H_2O-	0,69	Ka	—	—	—	1,0	0,8
CO_2	0,29	At, Chl	—	—	—	2,3	4,2
	100,16%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Nigglijeve vrednosti so:

si	202	p	0,2
al	33,5	ti	1,6
fm	31,1	mg	0,47
c	17,5	k	0,30
alk	17,9	π	0,27
		γ	0,12
		qz	+30,5

Tip magme: Kremenovo dioritni (kremenovo dioritni)
CIPW II. 4. 3. 4.

Količina anortita se spreminja v izračunanih plagioklazih takole: 40 % (CIPW), 38,5 % (Niggli 1 in 2), 34 % (Niggli 3) in 28 % an (Barth). Barvni indeks je: 12,7 (CIPW), 14,4 (Niggli 1), 14,6 (Niggli 2), 14,3 (Niggli 3, brez *At)* in 15,9 (Barth, brez *Chl).*

V kemičnem pogledu je ta predornina zelo sorodna z odlomki rogovačnega dacita območja Bele vode—Rudjina Banjica, pa tudi z rogovačno biotitnim andezitom Rudjevice.

V borski jami smo našli dacit na 5., 7. in 9. obzorju, in sicer povsod v zahodnem delu rudišča.

Dacit je podobno hidrotermalno spremenjen kot timocit. Nekoliko bolj svež je le na 9. obzorju v hodniku št. 19. Gre za manjši preboj v timocitu. Zanj so značilni večji plagioklazovi, kremenovi, rogovačini in biotitovi vtrošniki. Količina anortita v merjenih zrnih plagioklazov niha od 46 % do 52 % an, najbolj številna pa so zrna s 50 % an.

Kremenova zrnca so pogosto bipiramidalna in so zaradi resorbcije nekoliko zaobljena (tabla IV, sl. 3).

V holomikrokristalni osnovi moremo ločiti le nekoliko večje mikrolite. Ti pripadajo plagioklazom (oligoklazu), kremenu in magnetitu.

STAROST PIROKLASTIČNIH KAMENIN IN PREDORNIN V ŠIRŠI OKOLICI RUDNIKA BOR

Piroklastične kamenine in predornine ter magmatsko tektonske razmere na timoškem magmatskem območju in v bolgarskem Srednegorju so si zelo podobne. Kljub temu so se mišljenja naših in bolgarskih geologov o starosti predornin in piroklastičnih kamenin precej razlikovala.

Bolgarski geologi so bili enotni v oceni, da gre v Srednegorju v glavnem za zgornjekredni vulkanizem. Nekatere predornine so skrepenele sicer že v cenomanu, vendar naj bi bil večji del predornin in piroklastičnih kamenin senonske starosti. W. Petraschek (1953) je soglašal s senonsko starostjo večjega dela predornin Srednegorja ter menil, da prevladujejo tudi v Vzhodni Srbiji zgornjekredni andeziti in daciti. Le predornine v okolici Bora je uvrstil (po Claru, 1946) v terciar.

Nasprotno pa so predvsem V. K. Petković, K. V. Petković in Cvijić pripisovali terciarnemu vulkanizmu timoškega magmatskega območja precej večji pomen kakor zgornjekrednemu. V. K. Petković je razdelil vulkanske erupcije časovno v tri skupine: predsenonsko, senonsko in terciarno; prvi in drugi skupini je pripisal le omejen obseg, večji del predornin naj bi bil namreč skrepenel šele v mlajšem terciaru, po orogenetski fazi, v kateri so nastali v Vzhodni Srbiji številni narivi. Menil je celo, da so se mladoterciarni daciti in andeziti vrinili med rtanjsko-kučajski, poreški in tupižniški nariv in pri tem razmaknili grebene Malega krša, Velikega krša in Golega krša proti vzhodu. Takšen razvoj vulkanizma so zagovarjali v bolj ali manj prikrojeni obliki tudi Clar (1946), Marić (1957) in Antonijević (1961). Marić je spričo podobnosti mineralne in kemične sestave vzhodnosrbskih predornin s sestavo triadnih predornin v Bosni, Hercegovini in Črni gori celo domneval, da so morda tudi nekatere predornine Vzhodne Srbije triadne.

Pogledi na razvoj vulkanizma pri nas in v Bolgariji so bili tako različni, da so pripisovali enakim predorninam, npr. temno sivemu piroksenovemu in piroksenovo rogovačnemu andezitu z labradoritovimi in bitovnitovimi vtrošniki v Bolgariji senonsko, pri nas pa mladoterciarno starost. Medtem ko naj bi bile skrepenele te predornine v Srednegorju v času inicialnega vulkanizma (Str. Dimitrov, 1946), naj bi predstavljale pri nas produkte finalnega vulkanizma (Ilić, 1953/54).

Če bi bil del predornin in piroklastičnih kamenin v širši okolici Bora starejši od krede, morda sinhron s predorninami Dinaridov, bi bili zelo verjetno našli klastični material eruptivnega izvora v jurskih in albijskih usedlinah. Toda v teh usedlinah smo našli le zrna globočnin ter metamorfnih kamenin gornjansko beloreškega kristalinika. Zato sklepam, da v tem delu Vzhodne Srbije ni bilo predkrednega vulkanizma.

Sveža conarna zrnca andezina in labradorita ter plasti andezitskega tufa in tufita smo našli le v zgornjem delu senonskega peščenjaka, ki je po naši sodbi najstarejša zgornjekredna usedlina. Iz tega sklepamo, da so se začele vulkanske erupcije v širši okolici Bora šele potem, ko so se nekaj časa že

usedale senonske usedline. Plagioklazova zrnca v peščenjaku ter tuf in tufit so prvi znanilci senonskega podmorskega vulkanizma v tem delu timoškega magmatskega območja.

Pomembno vlogo pri določevanju starosti piroklastičnih kamenin, ki so jih izvrgle nadaljnje erupcije, imata borski pelit in borski konglomerat. Zaporedje plasti v širši okolici Bora kaže, da sta se konglomerat in pelit usedala v presledku med dvema vulkanskima fazama.

V prvi vulkanski fazi so nastale piroklastične kamenine, ki leže pod borskim pelitom in konglomeratom. Te piroklastične kamenine leže vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole, torej v okolici Bora vzhodno od borskega pelita. Gre za svetlo sive in svetlo sivkasto zelene piroklastične kamenine z andezitskimi in dacitskimi odlomki, ki vsebujejo sorazmerno velike vtrošnike. To so piroklastične kamenine rogovačno biotitnega andezita, rogovačnega andezita, rogovačno biotitnega dacita, rogovačnega dacita in mandeljnastega piroksenovega andezita. Senonsko starost teh kamenin dokazujejo pole in plasti sivega ter rdečega pelita s senonsko mikrofavno, ki so se usedale takrat, ko je vulkanska dejavnost nekoliko oslabela. Ker ležita tudi v krovnini piroklastičnih kamenin prve vulkanske faze senonska konglomerat in pelit, sodimo, da se je prva vulkanska faza v senonu končala.

Druga vulkanska faza obsega piroklastične kamenine v krovnini borskega pelita in jih opazujemo zahodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Gre za piroklastične kamenine piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega, rogovačnega in mandeljnastega piroksenovega andezita. Ker najdemo odlomke teh andezitov že v talninskem borskem pelitu, je tako podan dokaz, da se je začela druga vulkanska faza v senonu. Nimamo pa zanesljivih podatkov o tem, koliko časa je trajala. Možno je namreč, da se je končala že v zgornji kredi, ali pa se je zavlekla v paleogen. V območju med Borom, Brestovačko banjo in Črnim vrhom namreč nismo našli nikakih repernih usedlin. Toda če upoštevamo, da prebijajo omenjene piroklastične kamenine na Črnem vrhu in tudi drugod v magmatskem območju žile in čoki laramijskih magmatitov, je najbolj verjetno, da se je končala druga faza pred laramijsko orogenezo, ki se je pojavila v eocenu.

Pojasniti moramo še, kdaj so skrepenele predornine v okolici Bora. Večji del andezitov in dacitov vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole se ne razlikuje niti na oko niti po modalni in kemični sestavi od odlomkov v vulkanskih in tufskih brečah, ki jih te predornine prebijejo. Tudi fenokristali v predorninah prebojev so enako razviti kakor v predorninskih odlomkih breč. Zato mislimo, da moremo prištevati k prvi fazi vse različke rogovačno biotitnega in rogovačnega andezita ter različke rogovačno biotitnega in rogovačnega dacita.

Tudi piroksenov, piroksenovo rogovačni, rogovačno piroksenov in rogovačni andezit, ki jih najdemo zahodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole se niti po barvi, strukturi in velikosti vtrošnikov, niti po modalni sestavi ne razlikujejo od ustreznih odlomkov v tamkajšnjih piroklastičnih kameninah druge vulkanske faze. S tem je brez dvoma podana njihova sorodnost.

Omeniti moramo nadalje, da smo našli predornine druge faze tudi v okolici Velikega Krivelja in Bučja, kjer prebijajo kredne usedline in piroklastite prve vulkanske faze. Geološke raziskave drugih delov timoškega magmat-

skega območja so pakazale (M. Drovenik, 1959, M. Drovenik in drugi 1962, 1967), da predornine druge faze nikjer ne sečejo laramijskih magmatitov; to dokazuje, da so skrepenele pred laramijsko orogenezo.

Posebno vprašanje pa je starost albitskega trahita, ki ga je popisal iz okolice Brestovca Ilić (1957). Ilić piše, da je albitski trahit prebil andezitbazalt in je zato nekoliko mlajši. Če bi bil andezitbazalt skrepenel v kvartarju, kot misli Ilić, bi bila takšna razlaga sprejemljiva. Ker pa pripada Ilićev andezitbazalt (naš piroksenov andezit) najbolj verjetno drugi vulkanski fazi, se pogled na starost trahita spremeni. Možno je namreč, da je skrepenel albitski trahit res kmalu za andezitom, torej v drugi vulkanski fazi. Prav tako pa bi bil trahit lahko efuzivni različek laramijskih magmatitov. Vendar zaenkrat nimamo dokazov niti za prvo niti za drugo predpostavko.

Vse to kaže, da se je začela vulkanska dejavnost v širši okolici rudnika Bor v senonu. Najbolj verjetno je nastal večji del piroklastičnih kamenin in predornin že v zgornji kredi. Dopuščamo pa, da se je zavlekla vulkanska dejavnost v paleogen, a je zamrla pred laramijsko orogenezo. V širši okolici Bora torej ni predornin, ki bi skrepenele v mlajšem terciaru. Jugovzhodno od Bora so se začele vulkanske erupcije že nekoliko poprej. Na Stari planini so namreč andezitski piroklastiti v cenomanskih usedlinah (Nikolić in Anđelković, 1967), medtem ko so v Grliški reki piroklastične kamenine prve vulkanske faze v turonskih sedimentih (Drovenik in dr., 1967). To pa dokazuje, da se je vulkanska aktivnost širila postopno od jugovzhoda proti severozahodu, kot je napredovalo oblikovanje tektonskega jarka.

PETROLOŠKE ZNAČILNOSTI MAGMATSKIH IN PIROKLASTIČNIH KAMENIN TER RAZVOJ MAGMATIZMA

Na podlagi kartiranja in podrobnih laboratorijskih raziskav sklepam, da so predornine širše okolice Bora skrepenele v dveh vulkanskih fazah. Razlika v modalnih in delno v kemičnih sestavah kamenin prve in druge vulkanske faze so posledica magmatskega razvoja in različnih pogojev, pri katerih so skrepenele.

Predornine prve vulkanske faze so povečini svetlo sive, sive in sivkasto zelene, vsebujejo sorazmerno velike vtrošnike in imajo izrazito porfirsko strukturo.

Najbolj značilna kamenina prve vulkanske faze je timocit, ki ga spremljajo v širši okolici Bora različki rogovačno biotitnega andezita, rogovačni andezit in dacit. Zaporedje erupcij smo določili po položaju ustreznih piroklastičnih kamenin, ki jih je mnogo več kakor predornin samih.

Podmorski vulkanizem se je začel z erupcijami rogovačnega andezita, ki so jim sledile erupcije rogovačno biotitnega andezita. V tem obdobju je skrepenel tudi rogovačno biotitni dacit, zelo verjetno pa tudi rogovačni dacit. S tem pa prva vulkanska faza še ni bila končana. Ponovno so namreč sledile erupcije rogovačnega andezita in v omejenem obsegu tudi erupcije piroksenovega andezita. Vulkanska in tufska breča mandeljnastega piroksenovega andezita sta namreč vloženi na grebenu Kraku Kalafir v senonskem pelitu.

Modalne sestave kažejo, da med vtrošniki prevladujejo plagioklazova zrna. Po količini jim slede zrna rogovače in biotita. Piroksenovi vtrošniki

nastopajo v večjih količinah le v odlomkih mandeljnastega piroksenovega andezita, kremenova zrnca pa v dacitu. Akcesorni komponenti sta navadno magnetit in apatit, le tu in tam se jima pridružuje sfen. Skoraj v vseh različkih smo našli sekundarne minerale, ki so nastali bodisi pri preperevanju, bodisi pri hidrotermalni metamorfozi. Ti minerali so zeoliti, kalcit, klorit, kaolin, kalcedon, opal, sericit, prenit, alunit, anhidrit, pirit (+ Cu minerali), rutil in redko albit. Andezit in dacit v prebojih imata navadno holomikrokristalno osnovo, njuni odlomki in bloki v vulkanskih, tufskih in tufitnih brečah pa ponekod mikrokristalno, drugod kriptokristalno ali celo hialopilitsko osnovo.

Količine plagioklazovih vtrošnikov nihajo v posameznih različkih od 20,6% do 39,9%. Plagioklazova zrna so ponavadi dvojčično zgrajena in conarna. Povprečno merijo 0,5 mm do 2 mm, toda v nekaterih predorninah dosežejo celo 1,7 cm. Plagioklazi so v prebojih idiomorfni, v odlomkih in blokih pa pogosto okrušeni in zdrobljeni. Podatki detajlnih optičnih preiskav (uporabljali smo Nikitinove diagrame) dokazujejo, da pripada največji del plagioklazovih vtrošnikov bazičnemu andezinu in kislemu ter srednjemu labradoritu. V različnih predorninah nihajo količine anortita v plagioklazovih vtrošnikih kot kaže tabela 36.

SESTAVA PLAGIOKLAZOV V PREDORNINAH PRVE VULKANSKE FAZE

PLAGIOCLASE COMPOSITION OF THE EFFUSIVE ROCKS OF THE FIRST VOLCANIC PHASE

Tabela 36 / Table 36

	po Nikitinu, 1936 % an	po Kaadenu, 1951 % an
Rogovačni andezit	46 do 53	43 do 49
Rogovačni andezit (odlomki in bloki)	53 do 64	48 do 56
Rogovačno biotitni andezit	53 do 55	48 do 50
Rogovačno biotitni andezit (odlomki in bloki)	47 do 56	44 do 51
Timocit	56	51
Timocit (odlomki in bloki)	57 do 64	52 do 56
Rogovačno biotitni dacit	43 do 46	40 do 42
Rogovačno biotitni dacit (odlomki in bloki)	45 do 50	42 do 46
Rogovačni dacit (odlomki in bloki)	45 do 46	41 do 42
Mandeljnasti piroksenov andezit (odlomki in bloki)	62	56

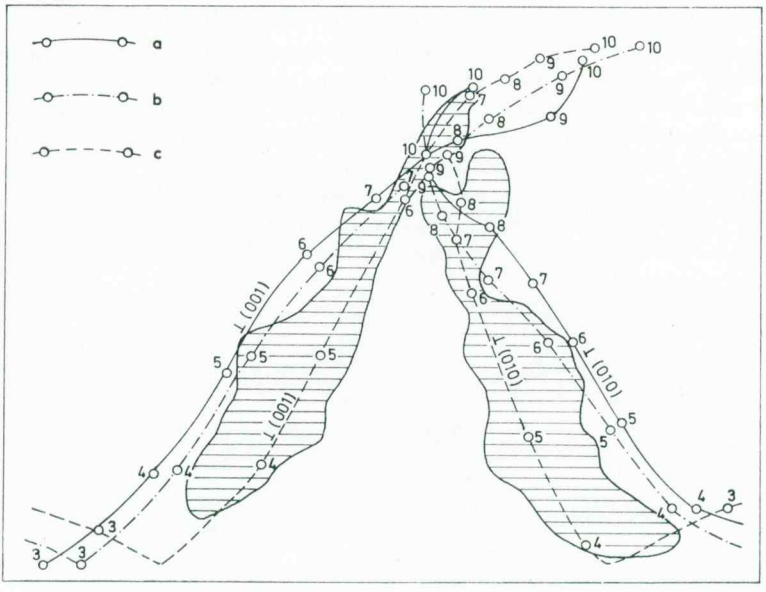
Značilno je, da se približuje le manjši del polov merjenih ploskev Nikitinovim krivuljam (Nikitin, 1936). Poli navadno močno odstopajo, in sicer v določenih delih krivulj v določeno smer. Najbolj izrazito odstopajo poli $\perp$ (010) in $\perp$ (001).

Podobne odklone sta našla pri nas Dolar-Mantuanijeva (1938) za plagioklazove vtrošnike pohorskih dacitov, Tajder (1940) pa za plagioklazove

vtrošnike delenitov s Kožufa. Tajder meni, da povzroča stalni odklon (tj. drugačen položaj optične indikatrise) večja količina izomorfno primešanega kalijevega glinenca. Toda raziskave izomorfnega sistema albit-anortit v zadnjih 20 letih so pokazale, da moremo razlikovati glede na temperaturo nastanka dve skupini plagioklazov. Globočnine in metamorfne kamenine vsebujejo nizkotemperaturne plagioklaze, v katerih zavzemajo atomi *Al* in *Si* geometrično urejene položaje v kristalni mreži, predornine pa visokotemperaturne plagioklaze z manj pravilnim razporedom atomov *Si* in *Al*.

Kaadenovi krivulji ⊥ (010) in ⊥ (001) za nizkotemperaturne plagioklaze (po Trögerju, 1952) se približujeta Nikitinovim krivuljam, medtem ko krivulji za visokotemperaturne različke močno odstopata. V našem primeru leži večji del vrisanih projekcij polov ob Kaadenovih krivuljah, ki ustrezata visokotemperaturnim različkom (sl. 19). Izmerili smo 1031 polov drugega pinakoida in 638 polov tretjega pinakoida.

Plagioklazi so torej nastali pri višjih temperaturah, zato moramo korigirati vrednost, dobljeno po Nikitinovem diagramu. Večji del merjenih zrn



Sl. 19. Položaj polov visokotemperaturnih plagioklazov glede na Nikitinovi in Kaadenovi krivulji

a Nikitin, 1936
b Nizkotemperaturni plagioklazi (Kaaden, 1951)
c Visokotemperaturni plagioklazi (Kaaden, 1951)

Fig. 19. Pole position of the high-temperature plagioclases regarding the Nikitin's and Kaaden's courbes

a Nikitin, 1936
b Low-temperature plagioclases (Kaaden, 1951)
c High-temperature plagioclases (Kaaden, 1951)

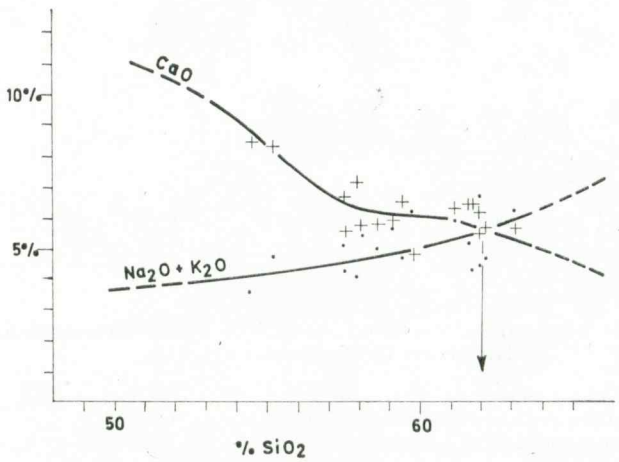
vsebuje 40% do 65% an, v resnici pa je anortitove komponente za 2,5% do 8% manj. Če upoštevamo to korekcijo, potem pripadajo plagioklazovi vtrošniki v predorninah prve vulkanske faze bazičnemu andezinu in kislemu labradoritu.

Kremenovi vtrošniki nastopajo le v dacitih. Idiomorfne oblike so prav redke, zrna so navadno močno resorbirana. Kremenova zrna, velika do 2 cm, ki smo jih našli v timocitu jugovzhodnega dela površinskega kopa Tilva Mika, so po naši sodbi klastičnega izvora; v magmo so prišla med njenim prodiranjem proti površju.

Med femičnimi komponentami prevladuje (z izjemo odlomkov mandeljnastega piroksenovega andezita) rogovača; v predorninah prve vulkanske faze je zastopana s 7,5 do 22,6 utežnimi odstotki. Velikost njenih vtrošnikov se od različka do različka močno spreminja. Največje premere (6 cm) doseže rogovača v rogovačnem andezitu v Kriveljski soteski. Sveža zrna imajo naslednji pleohroizem: Ng = temno zelena (olivno zelena), Nm = zelena in Np = svetlo rumeno zelena (svetlo zelena) barva. Kot potemnitve niha med 14° in 21°, kot 2V pa meri povprečno 75°. Ti podatki govore za rogovačo, ki vsebuje okrog 30 mol. % Fe, Mn in Ti (T r ö g e r, 1951). Tudi rogovačini vtrošniki so pogosto zdrobljeni in okrušeni, zlasti v odlomkih in blokih.

Biotit je značilen za rogovačno biotitni andezit, timocit in rogovačno biotitni dacit. V andezitih niha njegova količina od 0,5% do 3,5%, v dacitih pa doseže celo 5%. Manjšo količino biotitovih zrnc opazujemo tudi v nekaterih vzorcih rogovačnega andezita in rogovačnega dacita. Biotitovi vtrošniki so nenavadno sveži, tu in tam tudi kloritizirani.

Avgit kot edini piroksen nastopa v večji količini le v odlomkih mandeljnastega piroksenovega andezita. Posamezna piroksenova zrnca smo našli tudi v nekaterih vzorcih rogovačnega andezita in rogovačnega dacita.

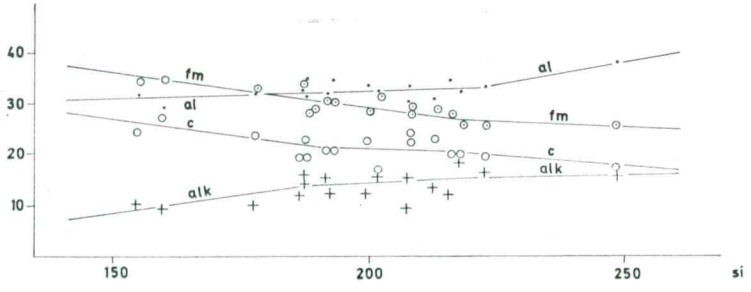


Sl. 20. Variacijski diagram CaO in $NaO_2 + K_2O$ za kamenine prve vulkanske faze
Fig. 20. Variation diagram of CaO and $Na_2O + K_2O$ corresponding to the effusive rocks of the Ist volcanic phase

Čeprav se modalne sestave predornin prve vulkanske faze med seboj razlikujejo, so dale kemične analize dokaj enotno sliko. Količina SiO_2 niha od 54,50% do 63,10%, Al_2O_3 pa od 15,80% do 19,56%. Kamenine so povečini bolj bogate s kalcijem kakor z alkalijami. Iz variacijskega diagrama za CaO in $Na_2O + K_2O$ (sl. 20) vidimo, da je vrednost Peacockovega alkalno kalcijevega indeksa 62, predornine torej pripadajo kalcijevi skupini kamenin. Po Niggliju (1936) moremo prištevati predornine prve vulkanske faze k alkalijsko kalcijskim različkom, v katerih je kalcijska komponenta bolj poudarjena; nastale so iz kremenovo dioritne, delno tudi dioritne in granodioritne magme. Edina izjema so odlomki mandeljnastega piroksenovega andezita, ki pripadajo levkogabroidnemu (belugitskemu) tipu magme. Če vzamemo kot merilo količine glinice in barvne indekse, potem moremo uvrstiti predornine prve faze po Shandu (1934) k levkokratnim metaaluminijskim andezitskim, oziroma dacitskim tipom.

Iz kemičnih analiz smo izračunali normativne sestave po ustaljenem načinu po CIPW in po Niggliju, prav tako pa tudi modalne sestave po napotilih Nigglija in Bartha. Modalna sestava, dobljena po Barthu je najbližja rezultatom, dobljenim z intergracijsko mizico.

Iz izračunanih modalnih sestav vidimo, da vsebujejo kamenine skoraj vedno svobodno kremenico in ortoklaz. V rogovačnem in rogovačno biotitnem andezitu nastopata obe komponenti (kremen in sanidin) v osnovi, ki je navadno tako drobnozrnata, da posameznih komponent pod mikroskopom nismo prepoznali. V dacitu nastopa kremen v večjih resorbiranih zrnih, sanidin pa v nekoliko večjih mikrolitih; del kremena in sanidina pa je tudi v dacitu skrit v mikrokristalni oziroma kriptokristalni osnovi.



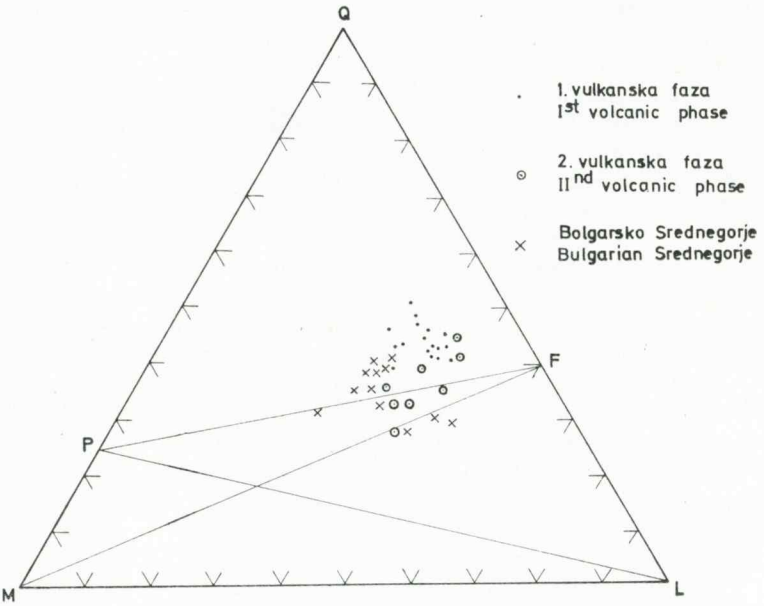
Sl. 21. Variacijski diagram predornin I. vulkanske faze
Fig. 21. Variation diagram of the effusive rocks belonging to the Ist volcanic phase

Variacijski diagram (sl. 21) predornin prve vulkanske faze kaže, da vrednosti *si* nihajo od 154 do 248, *al* od 29 do 39, *fm* od 26 do 35 in *c* od 17 do 27 ter *alk* od 9 do 19. Počasno dviganje krivulje *al* in *alk* ter istočasno postopno spuščanje obeh ostalih krivulj dokazuje normalno diferenciacijo brez intenzivnejše asimilacije ali kontaminacije.

Zanimive podatke nam dajo diagrami *QLM*, $k - \pi$ in $mg - \gamma$, ki smo jih sestavili s pomočjo Nigglijevih vrednosti. Zaradi boljšega pregleda, pa tudi zaradi primerjave, smo vrisali poleg projekcij predornin prve in druge

vulkanske faze tudi projekcije predornin bolgarskega Srednegorja (v ta namen smo preračunali vrednost kemičnih analiz, ki jih podaja Dimitrov, 1946).

Predornine prve vulkanske faze moremo uvrstiti v skupino zasičenih kamenin, kajti njihove projekcije leže v diagramu *QLM* (sl. 22) nad linijo *PF*. Projekcije predornin druge vulkanske faze, in tudi projekcije predornin bolgarskega Srednegorja, leže bolj proti liniji *PF*, delno tudi pod njo. Istočasno leže projekcije teh predornin tudi bolj proti polu *M*.



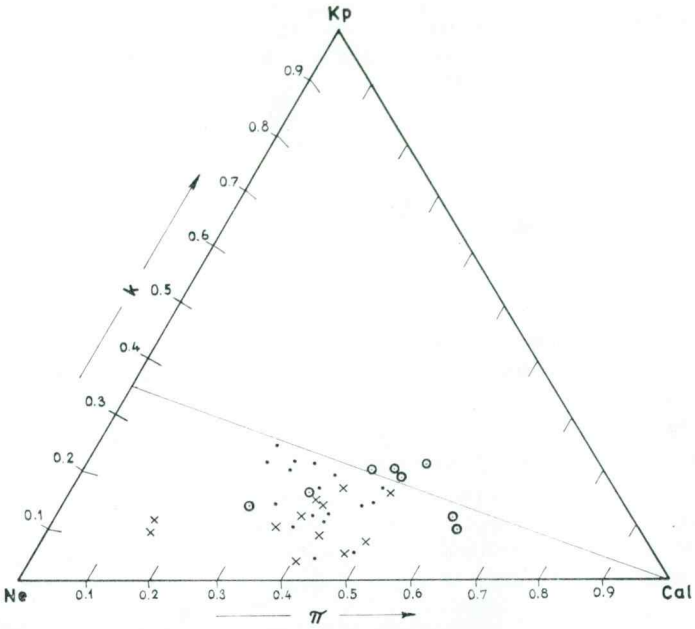
Sl. 22. Diagram *QLM* predornin v okolici Bora in v Srednegorju
Fig. 22. Diagram *QLM* of the effusive rocks of the Bor region and Srednegorje

Vrednosti *k* so za predornine prve vulkanske faze sorazmerno nizke in leže v diagramu $k - \pi$ (sl. 23) pod črto, ki veže vrednost k = 0,35 s polom *Cal;* to dokazuje, da pripadajo k skupini kalcijsko alkalijskih kamenin.

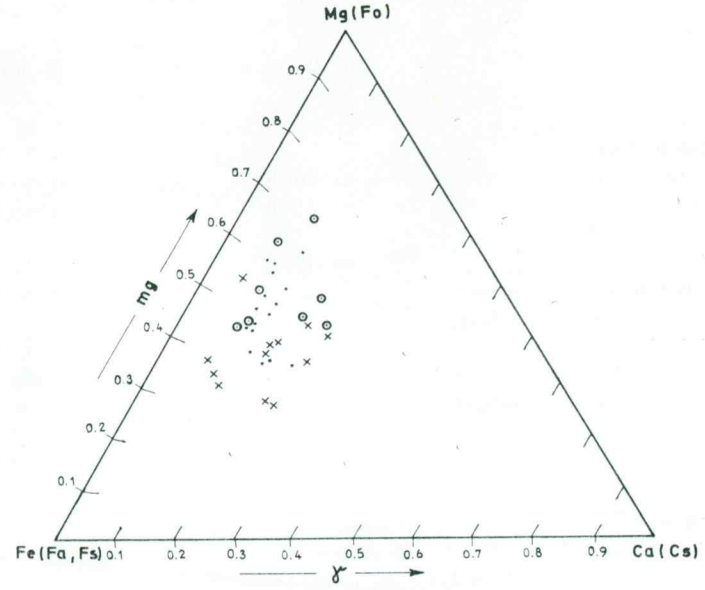
V diagramu $mg - \gamma$ (sl. 24) zavzemajo projekcije predornin prve vulkanske faze polje, ki ga omejujejo vrednosti *mg* 0,42 do 0,65 in γ 0,09 do 0,23.

Predornine druge vulkanske faze nastopajo predvsem zahodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole, kjer prebijajo in delno tudi prekrivajo lastne piroklastite. Preboje ter odlomke in bloke v piroklastitih predstavljajo predvsem razni andezitski različki, ki so navadno sivo zeleni, temno sivi in ponekod skoraj črni. Njihovi salični in femični vtrošniki so sorazmerno majhni. Femični vtrošniki so povečini tako drobni, da jih zanesljivo ločimo šele pod mikroskopom. Osnova večjega dela raziskanih kamenin je hialopilitska, v nekaterih primerih pa kriptokristalna ali pilotaksitska.

Največje površine pripadajo rogovačnemu andezitu, ki smo ga našli NW od Bora, kjer gradi Tilva Mik in Paca Mare. To so tudi edine predornine druge



Sl. 23. Diagram k-π predornin v okolici Bora in v Srednegorju
Fig. 23. Diagram k-π of the effusive rocks of the Bor region and Srednegorje



Sl. 24. Diagram mg-γ predornin v okolici Bora in v Srednegorju
Fig. 24. Diagram mg-γ of the effusive rocks of the Bor region and Srednegorje

vulkanske faze, ki so svetlo sive, oziroma svetlo sivo zelene. Zahodno od Bora, tj. na območju Bor—Brestovac—Brestovačka banja in do Črnega vrha prevladujejo temni andezitski različki.

Če sodimo po andezitskih odlomkih v zgornjem delu borskega pelita, ki jih imamo za prve znanilce nove vulkanske faze, potem se je le-ta začela z erupcijami piroksenovo rogovačnega in rogovačno piroksenovega andezita, ponekod tudi piroksenovega andezita. Nekoliko mlajši je rogovačni andezit, najmlajši pa so jedri skoraj črni piroksenov, piroksenovo rogovačni in rogovačno piroksenov andezit, ki sta jih delno popisala Ilić (1953/54) in Marić (1957), z območja Brestovačke banje—Zlot—Sumrakovac pa že pred njima Tomić (1931). K drugi vulkanski fazi prištevamo mimo tega tudi maloštevilne preboje piroksenovega, piroksenovo rogovačnega in piroksenovo biotitnega andezita, ki vzhodno od Bora prebija piroklastite prve vulkanske faze.

Plagioklazova zrna merijo navadno 0,3 mm do 1,5 mm, največja komaj presežejo 4 mm. Količine plagioklazovih vtrošnikov se od odlomka do odlomka, od preboja do preboja spreminjajo, povprečno pa jim pripada 24%.

Pri podrobnih optičnih raziskavah sem uporabljal Nikitinov diagram (1936). Na podlagi Kaadenove krivulje bom dobljene vrednosti korigiral, ker predstavljajo plagioklazi visokotemperaturne različke. Nihanje anortita v plagioklazovih vtrošnikih kaže tabela 37.

SESTAVA PLAGIOKLAZOV V PREDORNINAH DRUGE VULKANSKE FAZE

PLAGIOCLASE COMPOSITION OF THE EFFUSIVE ROCKS OF THE SECOND VOLCANIC PHASE

Tabela 37

Table 37

	po Nikitinu, 1936 % an	po Kaadenu, 1951 % an
Rogovačni andezit	54 do 60 %	50 do 54,5 %
Rogovačni andezit (odlomki in bloki)	61 do 80 %	55 do 69 %
Piroksenov andezit	64 do 89 %	56 do 84 %
Piroksenov andezit (odlomki in bloki)	60 do 65 %	54 do 56 %
Piroksenovo rogovačni andezit	73 do 85 %	63 do 81 %
Piroksenovo rogovačni andezit (odlomki in bloki)	73 %	63 %
Rogovačno piroksenov andezit	58 do 80 %	52 do 76 %
Rogovačno piroksenov andezit (odlomki in bloki)	74 %	64 %
Piroksenovo biotitni andezit	73,5 %	63 %

Če upoštevamo te korekcije, potem vidimo, da pripadajo plagioklazovi vtrošniki v predorninah druge vulkanske faze povečini srednjemu in bazičnemu labradoritu, delno tudi kislemu in srednjemu bitovnitu.

Plagioklazovi vtrošniki so večidel močno prepereli v kaolin, ki ga spremljajo zeoliti in kalcit.

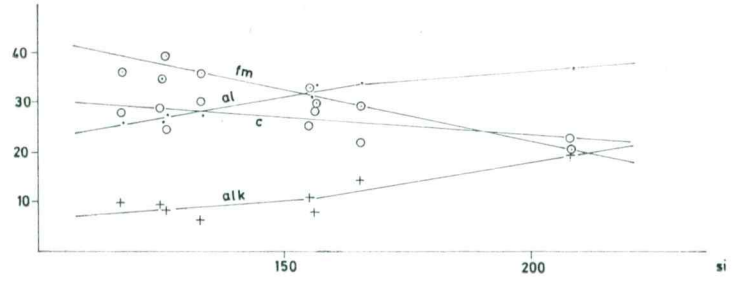
Vtrošniki rogovače so temno zeleni, skoraj črni, paličasti in imajo navadno idiomorfne preseke. Merijo nekaj desetink mm do 5 mm, le v nekaterih različkih dosežejo zrna tudi premere 7 mm do 9 mm. Kot potemnitve niha pri normalni rogovači od 12° do 18°, pri bazični pa je nekoliko manjši. 2 V meri povprečno —79°.

Piroksene zastopata hipersten in avgit. Hipersten smo zasledili le v temnem jedrem piroksenovem andezitu; nastopa v paličastih idiomorfnih vtrošnikih. Kot 2 V meri povprečno —66°. Avgit je v predorninah druge vulkanske faze zelo razširjen. Največje premere doseže v odlomkih in blokih mandeljnastega piroksenovega andezita; nekatera zrna merijo več kakor 1 cm. V vseh drugih predorninah so avgitovi vtrošniki precej manjši; dosežejo le 0,5 mm do 4 mm. Kot potemnitve meri povprečno 44°, kot 2 V pa + 58,5°.

Biotitove vtrošnike smo našli le v piroksenovo biotitnem andezitu. Po strukturi sklepamo, da je biotit nastal delno pred avgitom, delno pa za njim. Magma je bila sorazmerno bogata z vodo.

Pri presoji kemizma vulkanitov druge vulkanske faze smo upoštevali mimo dveh novih kemičnih analiz tudi rezultate kemičnih analiz, ki jih navajajo T o m i ć (piroksenovo rogovačni andezit v Zlotu in piroksenov andezit v Sumrakovcu), I l i ć (piroksenov andezit v okolici Brestovačke banje) in M a r i ć (piroksenov andezit jugozahodno od Prvulovega brda, piroksenov andezit na zahodnem vznožju Prvulovega brda in piroksenov andezit pri borski cerkvi). Modalne sestave in sestave plagioklazovih vtrošnikov teh predornin namreč ustrezajo sestavam predornin, ki smo jih popisali z območja Bor—Brestovac—Brestovačka banja.

V predorninah druge vulkanske faze niha količina SiO_2 od 47,40% do 60,02%, količina Al_2O_3 pa od 17,48% do 20,26%. Kalcijevega oksida je v večini primerov več (v nekaterih predorninah celo dvakrat več) kakor alkalij. Iz N i g g l i j e v i h vrednosti vidimo, da prevladujejo kamenine, ki so nastale iz levkogabroidne (belugitske, belugitsko ossipitske in levkomiharaitske) magme. Nekatere so skrepenele iz sommait-monzonitske, druge iz dioritske in celo iz kremenovo dioritske magme. Kakor je ugotovil že M a r i ć (1957), moremo uvrstiti predornine območja Bor—Brestovac—Brestovačka banja v skupino S h a n d o v i h subaluminijskih andezitov.



Sl. 25. Variacijski diagram predornin 2. vulkanske faze
Fig. 25. Variation diagram of the effusive rocks belonging to the 2nd volcanic phase

Medtem ko so za predornine prve vulkanske faze značilne pozitivne vrednosti *qz*, ki nihajo od + 15 do + 84, imajo predornine druge faze zdaj pozitiven zdaj negativen *qz*, vselej pa je sorazmerno majhen; spreminja se le od + 26 do — 23. V normativnih in modalnih sestavah dobimo vedno manj kakor 10% kremena, pripomniti pa moramo, da so količine *Or* dokaj velike: spreminjajo se od približno 5% do 15%. Gre predvsem za sanidin, ki pa nastopa v osnovi in ga pod mikroskopom nismo uspeli odkriti.

Variacijski diagram predornin druge vulkanske faze (sl. 25) poteka normalno: Krivulji *fm* in *c* polagoma padata s povečano količino *si*, istočasno pa se krivulji *al* in *alk* postopno vzpenjata. Količina *si* niha od 117 do 165, z eno samo izjemo *si* 208 (piroksenov andezit pri borski cerkvi), *al* od 26 do 37,2. *fm* od 19,4 do 39.5, *c* od 22 do 30,2 in *alk* od 6,4 do 20,6.

Ker je qz vselej majhno število, leže projekcije vulkanitov druge vulkanske faze v diagramu *QLM* nad, oziroma pod linijo zasičenosti *PF*, vendar nekoliko bolj proti polu *M* kakor projekcije predornin prve faze. Skoraj neposredno ob teh projekcijah leže tudi projekcije predornin bolgarskega Srednegorja (sl. 22).

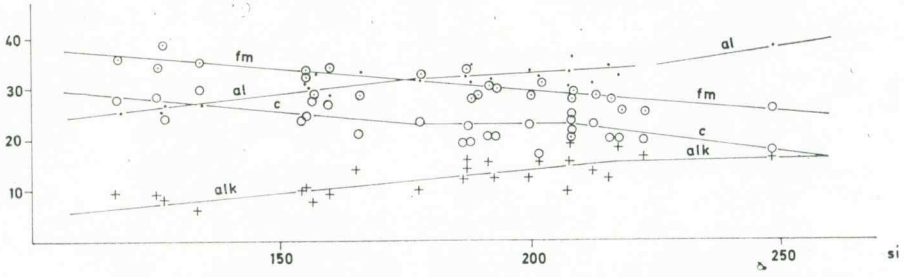
Značilno je nadalje, da vsebujejo predornine druge vulkanske faze povprečno večje vrednosti *k* kakor predornine prve vulkanske faze; štiri vrednosti leže celo nad črto, ki veže vrednost 0,35 s polom *Cal*, torej nad črto, ki loči kalcijevo alkalni in kalijev tip kamenin. Te predornine so torej na prehodu h kalijevim različkom. Ker pa so kamenine istočasno tudi bogate s CaO, ki je večidel vezan na anortit, leže projekcije bolj proti polu *Cal*.

V diagramu mg — γ so projekcije predornin druge vulkanske faze dokaj razpršene, ker se kvalitativne in kvantitativne modalne sestave jasno razlikujejo, čeprav obstajajo med njimi postopni prehodi.

Iz podatkov diagramov *QLM*, k — π in mg — γ vidimo, da leže projekcije predornin druge vulkanske faze in projekcije predornin bolgarskega Srednegorja pogosto v istem polju, kar dokazuje njihovo petrokemično sorodnost. To potrjujeta tudi njihova kemična in kvalitativna modalna sestava.

GENEZA MAGMATSKIH KAMENIN V OKOLICI RUDNIKA BOR

Če upoštevamo modalne in kemične sestave predornin prve in druge vulkanske faze, pridemo do sklepa, da je potekala diferenciacija magme normalno, brez intenzivnejše asimilacije ali kontaminacije. To potrjuje tudi



Sl. 26. Variacijski diagram predornin prve in druge vulkanske faze
Fig. 26. Variation diagram of the effusive rocks of the Ist and 2nd volcanic phases

variacijski diagram (sl. 26). Sestave kamenin nam istočasno povedo, da diferenciacija ni trajala posebno dolgo: manjkajo namreč bolj bazični — bazaltni različki, kakor tudi kisli — riolitni, ki sicer pogosto spremljajo andezitski vulkanizem v orogenetskih conah. Morda pa je pomanjkanje skrajnih diferenciatov magme tudi dokaz za intenzivno tektoniko, ki ni dovolila, da bi se prvotna magma mirno razcepila. To je važno vprašanje, o katerem bomo morali razmišljati pri nadaljnjih petroloških študijah timoškega območja magmatskih kamenin.

Najbolj verjetno je, da so predornine širše okolice Bora nastale iz prvotne dioritne magme. Pri diferenciaciji so nastale kremenovo dioritna in celo granodioritna, ter levkogabroidna magma. Specifično lažja kremenovo dioritna magma je bila v zgornjih delih magmatskega ognjišča, težja, levkogabroidna pa v spodnjih. Poudariti moramo, da so obstajale te magme istočasno; to dokazuje vložek vulkanske breče mandeljnastega piroksenovega andezita v piroklastitu prve vulkanske faze. Razvoj vulkanizma je bil verjetno naslednji:

1. V zgornjem delu magmatskega ognjišča, kjer je bilo dovolj vode in je bila temperatura nekoliko nižja, je kristalizacija naglo napredovala. Mimo plagioklazovih (∓ kremenovih) vtrošnikov sta kristalizirala v tem delu tudi rogovača in biotit. Precej viskozna magma, ki je že vsebovala lepo razvite vtrošnike plagioklazov (∓ kremena), rogovače in biotita, se je bodisi prebila na površje, bodisi skrepenela v obliki subvulkanskih intruzij pod pokrovom piroklastičnih in klastičnih usedlin. Tako so nastale piroklastične kamenine in predornine prve vulkanske faze. Tu in tam se je prebila tudi magma iz globljih delov, kar dokazujejo piroklastične kamenine mandeljnastega piroksenovega andezita v krovnini timocitovih piroklastičnih kamenin kriveljskega pasu.

2. Po premoru je nova tektonska faza odprla pot magmi iz večjih globin. Ta magma je vsebovala majhne vtrošnike plagioklazov in femičnih mineralov. Iz nje so nastale predornine in piroklastične kamenine druge vulkanske faze, ki so prekrile kamenine prve vulkanske faze. Z drugo vulkansko fazo pa magmatski razvoj v okolici Bora še ni bil končan.

Ob longitudinalnih prelomih, nastalih v laramijski orogenezi so skrepeneli ponekod plutoniti, drugod pa njihovi hipoabisični ekvivalenti. Že leta 1948 so navrtali pod Čoka Čuruli kremenov diorit, pri kartiranju smo nato našli v Todorovem potoku diorit, na Kriveljskem kamnu pa kremenov dioritni porfir, ki so ga našli z vrtinami tudi v bakrovem rudišču diseminacijskega tipa pri Velikem Krivelju. Te kamenine sečejo najpogosteje andezite in njihove piroklastite. Kremenov diorit in diorit imata podobno mineralno in kemično sestavo kakor nekateri plutoniti na območju Crni vrh—Potoj Čuka—Oman, kremenov dioritni porfir pa se po mineralni sestavi močno približuje kremenovemu dioritnemu porfirju v dolini Dumitri (M. Drovenik, 1959). V bolgarskem Srednegorju in v drugih delih timoškega magmatskega območja so skrepeneli plutoniti in njihovi hipoabisični ekvivalenti le v času laramijske orogeneze. Zato sodimo, da so skrepeneli v tej orogenezi tudi plutoniti in žilnine v okolici Bora.

Laramijske magmatite so spremljale hidrotermalne raztopine, ki so spremenile tako vulkanite in piroklastite, kakor tudi apneni pelit. Vulkaniti in piroklastiti so bili predvsem kloritizirani, kaolinizirani, silificirani, epidoti-

zirani in alunitizirani, apneni pelit pa se je spremenil v skarn. Tako so nastale ob longitudinalnih prelomih tri hidrotermalno spremenjene cone v Malem Krivelju, Velikem Krivelju in v Boru. V vsaki coni so znani bakrova rudišča in pojavi bakrovih rud. Do največje koncentracije bakra je prišlo v borski coni; borsko rudišče je vsebovalo v celoti namreč nekaj več kakor 2 milijona ton kovine.

SKLEP

Petrološko geološka raziskava širše okolice Bora je pokazala, da nastopajo na tem terenu metamorfne, sedimentne, piroklastične in magmatske kamenine, ki so nastale v različnih časovnih obdobjih.

Najstarejše kamenine so paleozojski skrilavci, ki jih najdemo predvsem na vzhodnem pobočju Velikega krša, v vzhodnem vznožju Golega krša in v spodnjem delu luske nad Todorovim potokom. Izdanki hercinskega plagiogranata so osamljeni.

Kot posledica mezozojske epirogeneze sta najprej nastala liadni konglomerat in peščenjak. Kamenini sta značilni spodnjejurski usedlini tega dela Vzhodne Srbije in spremljata vzhodni rob magmatskega območja. Zgornjejurski in spodnjekredni apnenec gradita grebene Velikega in Golega krša. Ti grebeni se raztezajo od NNW proti SSE in tvorijo jasno morfološko mejo med vulkanogenosedimentnimi tvorbami timoškega magmatskega območja ter metamorfnimi in magmatskimi kameninami gornjansko-beloreškega kristalinika. Mimo tega grade mezozojski apnenci številne luske v jugovzhodnem podaljšku Velikega krša in lusko Kriveljskega kamna. Apnenci imajo smer NW—SE in vpadajo proti SW.

Spodnjekredni apnenec je prekrit na številnih krajih z albijskim peščenjakom, ki ima podobno smer in vpad kakor apnenec. Zrnca peščenjaka izvirajo večidel iz gornjansko-beloreškega kristalinika. V peščenjaku nismo našli conarnih plagioklazov srednje sestave, ki so sicer značilni za predornine timoškega magmatskega območja. Malo je torej verjetno, da bi obstajale v širši okolici Bora predkredne andezitske in dacitske predornine, ki bi bile sinhrone s triadnimi predorninami v Dinaridih.

Senonskemu peščenjaku in pelitu pripadajo precej večje površine, kakor kažejo dosedanje geološke karte. Predstavljata prve zgornjekredne usedline in gradita nekaj lusk, ki imajo povečini tektonske meje. Po sestavi lahko prištevamo peščenjak k skupini kremenovega peščenjaka s karbonatnim vezivom, pelit pa k skupini apnenega pelita. V spodnjem delu teh skladov nismo našli niti conarnih plagioklazovih zrn srednje sestave niti andezitovih in dacitovih zrn; manjkajo tudi ustrezni tufski in tufitni vložki. Predsenonske erupcije so torej malo verjetne. Prva conarno zgrajena andezinova in labradoritova zrna ter prve tufske in tufitne pole in plasti sem našel šele v zgornjem delu peščenjaka in nato v pelitu. To so prvi znanilci senonskega vulkanizma.

Vulkansko delovanje se je naglo stopnjevalo. Pri podmorskih erupcijah so bile izvržene ogromne količine piroklastičnega materiala, ki se je usedel tu in tam izmenično s klastičnimi usedlinami. V piroklastične in klastične usedline so se prebile na številnih krajih žile predornin, drugod pa se je lava v omejenem obsegu tudi izlila. Koliko časa so delovali vulkani, ni povsem

točno dognano. Najbolj verjetno se mi zdi, da so nehali delovati v zgornji kredi, vendar dopuščam možnost, da se je njihovo delovanje zavleklo v paleogen.

V tem vulkanskem obdobju so nastale piroklastične kamenine in predornine v dveh vulkanskih fazah. Kamenine prve vulkanske faze leže vzhodno od črte Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole, kamenine druge vulkanske faze pa v glavnem zahodno od tod.

V prvi vulkanski fazi so nastale piroklastične kamenine rogovačnega in rogovačno biotitnega andezita, rogovačnega in rogovačno biotitnega dacita ter podrejeno tudi mandeljnastega piroksenovega andezita. Odlomki predornin v vulkanski in tufski breči so svetlo sivi in svetlo sivkasto zeleni, le odlomki mandeljnastega piroksenovega andezita so temno zeleni, skoraj črni. Predornine vsebujejo večje vtrošnike plagioklazov, predvsem pa rogovače in biotita ter imajo značilno porfirsko strukturo. Med vtrošniki prevladujejo zrna plagioklazov, ki vsebujejo povprečno 40% do 56% an. Piroksenova zrna zasledimo v zelo majhnih količinah, vendar predstavljajo edino femično komponento v odlomkih mandeljnastega piroksenovega andezita. V dacitovih različkih se pridružujejo vtrošnikom plagioklazov, rogovače in biotita vtrošniki kremena. Podobne sestave, barve in strukturo imajo tudi predornine, ki nastopajo v teh piroklastitih v obliki žil in subvulkanskih čokov.

Kemične analize kažejo, da niha količina kremenice v andezitih in dacitih prve vulkanske faze od 54,50% do 63,10%, kremenovo število pa od + 15 do + 84. Kamenine so večidel bolj bogate s kalcijem kakor z alkalijami; vrednost Peacockovega alkalnokalcijevega indeksa je 62. Po N i g g l i j u moremo prištevati te predornine k alkalno kalcijevim različkom, v katerih je kalcij močneje poudarjen. Nastale so iz kremenovo dioritne, delno tudi dioritne in celo iz granodioritne magme. Edina izjema je mandeljnasti piroksenov andezit, ki pripada levkogabroidnemu tipu magme.

Tudi v drugi vulkanski fazi so bile izvržene velike količine piroklastičnega materiala. Prevladujeta vulkanska in tufska breča, medtem ko je tufa in tufita le malo. Tudi žile predornin so maloštevilne. Predorninski odlomki v piroklastičnih kameninah in predorninah, ki sestavljajo žile, so temno sivi, temno zeleni, ponekod skoraj črni. Vtrošniki plagioklazov, rogovače, avgita, hiperstena in biotita so navadno drobni; femične komponente ločimo v nekaterih predorninah šele pod mikroskopom. Tudi v predorninah druge vulkanske faze prevladujejo med vtrošniki zrna plagioklazov; ti so izrazito conarni in pogosto vsebujejo drobne vključke vulkanskega stekla. Plagioklazovi vtrošniki pripadajo v glavnem srednjemu in bazičnemu labradoritu, deloma tudi kislemu in srednjemu bitovnitu. Femične komponente nastopajo v različnih predorninah v različnih razmerjih.

Večji del kemičnih analiz dokazuje, da so predornine druge faze nekoliko bolj bazične kakor predornine prve faze. Količina kremenice niha namreč od 47,40% do 60,20%, kremenovo število pa se spreminja od + 26 do — 23. Kalcija je v večini primerov več kakor alkalij. Izračunane Nigglijeve vrednosti nam povedo, da prevladujejo predornine, ki so skrepenele iz levkogabroidne magme.

S pomočjo Nigglijevih vrednosti predornin širše okolice Bora smo sestavili diferenciacijske diagrame. Ti nazorno prikazujejo dve diferenciacijski

poti: prva vodi k povečanju količine *si*, *al* in *alk*, druga pa k povečanju *c* in *fm*. Ker krivulji *al* in *alk* blago naraščata, krivulji *c* in *fm* pa istočasno padata, menimo, da je diferenciacija iz prvotne dioritne magme potekala normalno, brez intenzivnejše asimilacije ali kontaminacije.

V presledku med prvo in drugo vulkansko fazo sta nastala borski pelit in konglomerat. Pelit leži konkordantno na timocitovih piroklastitih borskega pasu, konglomerat pa prekriva timocitove piroklastite kriveljskega pasu. Prehodi piroklastitov v pelit in konglomerat so postopni. To dokazuje, da sta se usedali klastični usedlini istočasno. Razlika je le v tem, da je nastajal konglomerat v neposredni bližini obale, pelit pa v globjem morju. Zgornje plasti pelita že vsebujejo tuf, tufit in vulkansko brečo druge vulkanske faze.

V piroklastičnih kameninah druge faze je zelo malo tufa in tufita, pelita pa sploh nismo našli. To kaže, da so delovali vulkani tudi na kopnem.

Popisani vulkanizem je zamrl vsekakor pred laramijsko orogenezo. Ugotovili smo namreč, da prebijajo laramijski magmatiti na številnih krajih piroklastične kamenine druge vulkanske faze. Ker so torej vulkaniti in piroklastiti območja Bor—Brestovačka banja starejši od laramijskih magmatitov, ne predstavljajo produktov finalnega vulkanizma, kakor je to trdil I l i ć.

V novi magmatski dejavnosti, ki je spremljala laramijsko orogenezo, so skrepeneli v timoškem magmatskem območju številni plutoniti in njihovi hipoabisični ekvivalenti. V širši okolici Bora so se prebili čoki in žile laramijskih magmatitov ob longitudinalnih dislokacijah s smerjo NW—SE. Laramijske magmatite zastopajo kremenov diorit pod Čoka Čuruli, diorit v Todorevem potoku in kremenov dioritni porfir, ki smo ga našli najprej na Kriveljskem kamnu, kasneje pa tudi v vrtinah novega bakrovega rudišča v Velikem Krivelju. Te magmatite so spremljale hidrotermalne raztopine, ki so povzročile v obdajajočih kameninah močno metamorfozo. Piroklastične kamenine in predornine so predvsem kaolinizirane, silificirane, kloritizirane in piritizirane, medtem ko je apneni pelit delno ali povsem spremenjen v skarn, apnenec pa marmoriziran.

Tako so nastale ob longitudinalnih prelomih, ki so jim sledili laramijski magmatiti, tri hidrotermalno spremenjene cone: cona Malega Krivelja, cona Velikega Krivelja ter borska cona. V vsaki coni leže rudišča bakra. Do največje koncentracije metala je prišlo v borskem rudišču, kjer so znašale celotne zaloge bakra nekaj več kakor 2 milijona ton.

Besedilo k slikam
Explanation of Figures

TABLA I — PLATE I

Sl. 1. Zrna dvojčičnih, conarnih plagioklazov, iveri rogovače in zrna magnetita Vezivo je kalcitno. Tufit z južnega vznožja Tilve Pasku. Presevna polarizirana svetloba, navzkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 1. Twinned, zonal plagioclase grains, splinter of hornblende and magnetite grains. Calcite groundmass. Tuffite from the southern foot of Tilva Pasku hill. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Sl. 2. Okrušena plagioklazova zrna in drobci v kriptokristalni osnovi. Odlomek timocita iz vulkanske breče; Bor, jama, 5. obzorje. Presevna polarizirana svetloba, navzkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 2. Broken plagioclase grains in the cryptocrystalline groundmass. Timocite fragment in volcanic breccia; Bor Mine 5th level. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Sl. 3. Drobci timocita v drobnozrnatem tufu. Osnova timocitove vulkanske breče; Bor, jama, 5. obzorje. Presevna polarizirana svetloba, 20 x.

Fig. 3. Timocite in the fine grained tuff. Groundmass of timocite volcanic breccia; Bor Mine 5th level. Transmitted polarized light, 20 x.

TABLA II — PLATE II

Sl. 1. Conarni plagioklazovi vtrošniki, rogovača in kremen v mikrokristalni osnovi. Odlomek rogovačnega dacita iz vulkanske breče na vzhodnem vznožju Tilva Bajkuli. Presevna polarizirana svetloba, navzkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 1. Zonal plagioclase phenocrysts, hornblende and quartz grains in the microcrystalline groundmass. Hornblende dacite fragment from volcanic breccia on the eastern footwall of Tilva Bajkuli hill. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Sl. 2. Diorit s hipidiomorfno porfiroidno strukturo ob Todorovem potoku. Presevna polarizirana svetloba, navzkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 2. Diorite with hypidiomorphic porphyroide texture from Todorov Potok. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Sl. 3. Spremenjeni plagioklazi v holokristalni osnovi. Kremenov dioritni porfir v kamnolomu Kriveljskega kamna. Presevna polarizirana svetloba, navkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 3. Altered plagioclases in holocrystalline groundmass. Quartz diorite porphyry from the quarry of Kriveljski Kamen. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Besedilo k slikam
Explanation of Figures

TABLA III — PLATE III

Sl. 1. Idiomorfni plagioklazovi vtrošniki v holomikrokristalni osnovi. Timocit z 11. obzorja jame Bor, ob jašku Skip. Presevna polarizirana svetloba, navkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 1. Idiomorphic plagioclase phenocrysts in the holomicrocrystalline groundmass. Timocite from 11th level of Bor Mine near the Skip shaft. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Sl. 2. Vtrošniki plagioklazov, avgita in hiperstena v hialopilitski osnovi. Piroksenov andezit ol Ilijevem potoku. Presevna polarizirana svetloba, 20 x.

Fig. 2. Plagioclase, hypersthene and augite phenocrysts in the hyalopilitic groundmass. Pyroxene andesite from Ilijev Potok. Transmitted polarized light, 20 x.

Sl. 3. Idiomorfna plagioklazova, piroksenova in magnetitova zrna v vulkanskem steklu (s). Piroksenov andezit, zahodno od Čoka Bare. Presevna svetloba, 32 x.

Fig. 3. Idiomorphic plagioclase, pyroxene and magnetite grains in volcanic glass (s). Pyroxene andesite, west of Čoka Bare. Transmitted polarized light, 32 x.

TABLA IV — PLATE IV

Sl. 1. Idiomorfni vtrošniki plagioklazov, piroksena in biotita (b) v holomikrokristalni osnovi. Piroksenovo biotitni andezit vzhodno od Kornjet Petko. Presevna polarizirana svetloba, 20 x.

Fig. 1. Idiomorphic phenocrysts of plagioclases, pyroxene and biotite (b) in the holomicrocrystalline groundmass. Pyroxene-biotite andesite east of Kornjet Petko. Transmitted polarized light, 20 x.

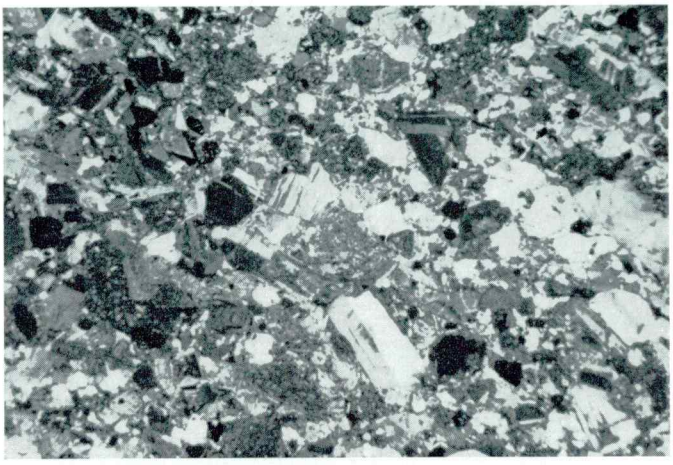
Sl. 2. Resorbirano kremenovo zrno in plagioklazovi vtrošniki v holomikrokristalni osnovi. Rogovačno biotitni dacit spodnjega izdanka ob Rudjevici. Presevna polarizirana svetloba, navzkrižni nikoli, 20 x.

Fig. 2. Resorbed quartz grain and plagioclase phenocrysts in the holomicrocrystalline groundmass. Hornblende-biotite dacite from the lower outcrop at Rudjevica brook. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

Sl. 3. Resorbirano zrno kremena v spremenjenem dacitu. Rogovačno biotitni dacit. Bor jama, 9. obzorje. Presevna polarizirana svetloba, navzkrižni nikoli, 20 x.

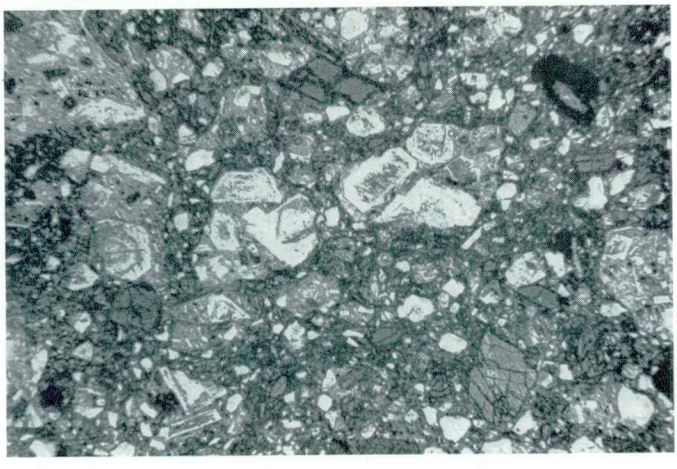
Fig. 3. Resorbed quartz grain in altered dacite. Hornblende-biotite dacite. Bor Mine, 9th level. Transmitted polarized light, nicols crossed, 20 x.

TABLA I
PLATE I



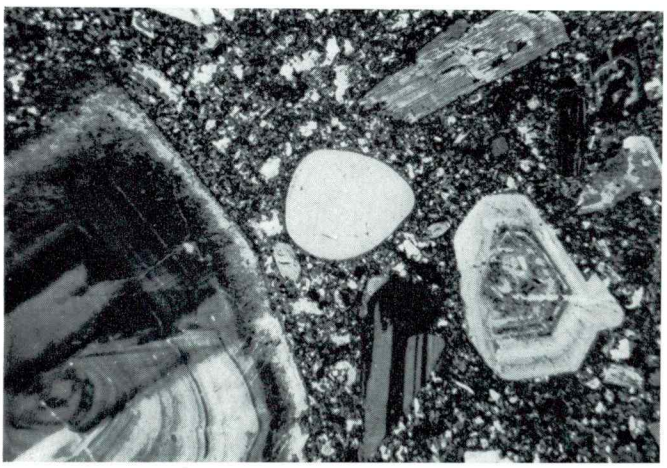
Sl. 1
Fig. 1

Sl. 2
Fig. 2



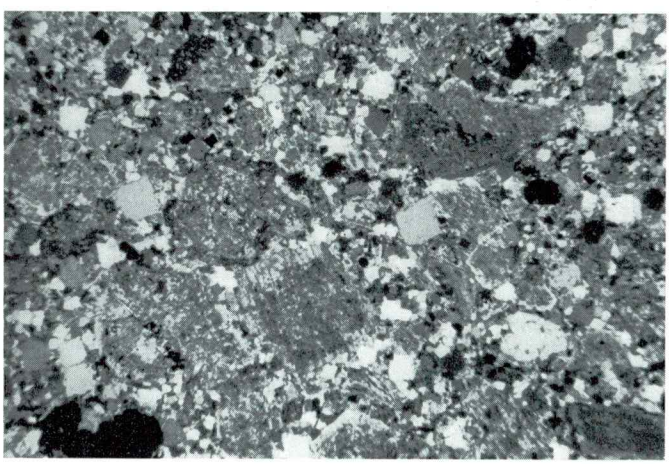
Sl. 3
Fig. 3

TABLA II
PLATE II



Sl. 1
Fig. 1

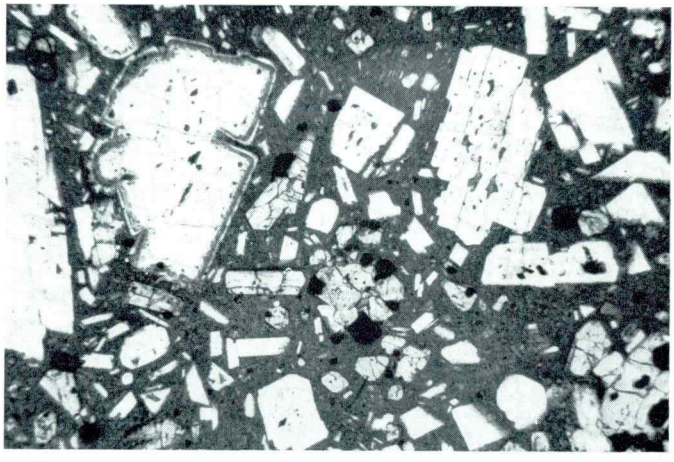
Sl. 2
Fig. 2



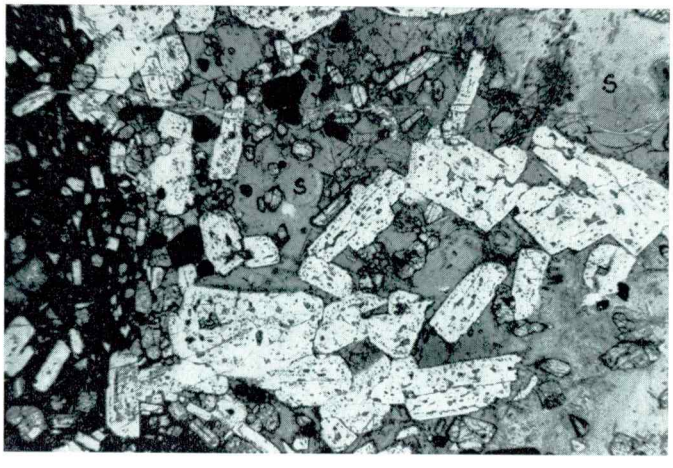
Sl. 3
Fig. 3

TABLA III
PLATE III

Sl. 1
Fig. 1

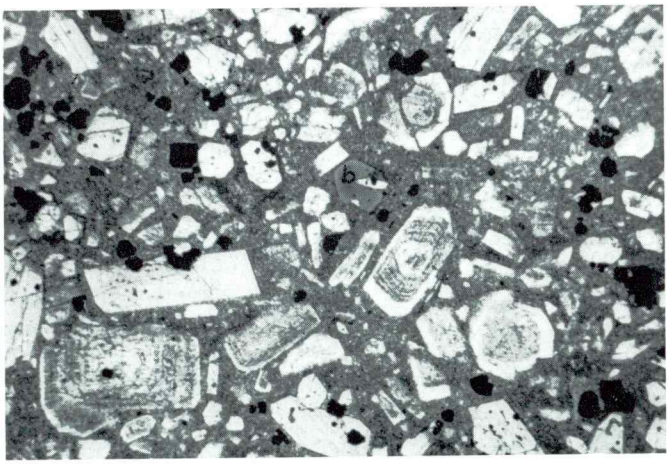


Sl. 2
Fig. 2

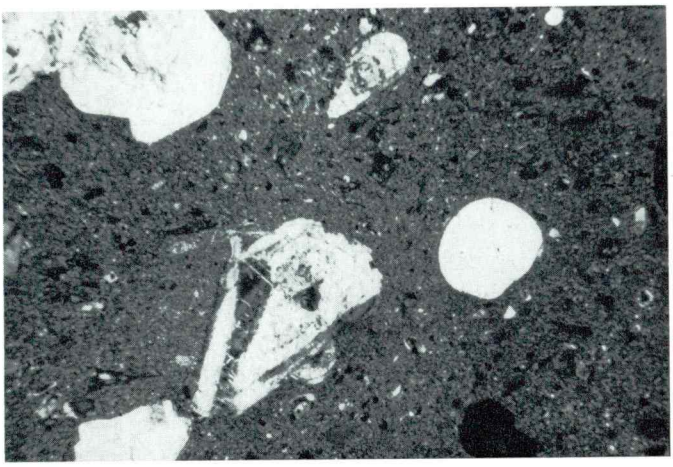


Sl. 3
Fig. 3

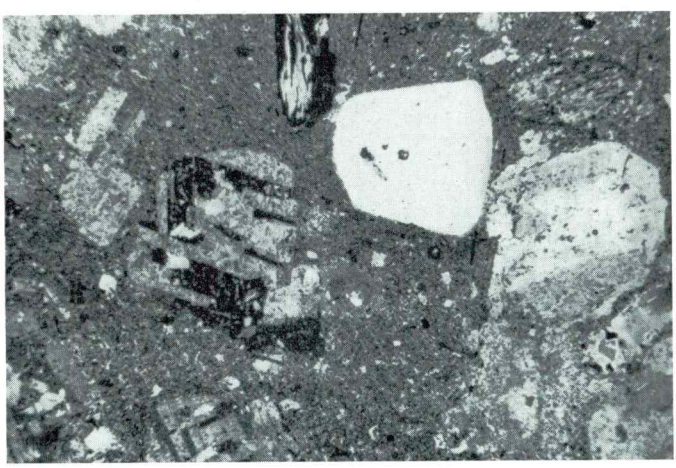
TABLA IV
PLATE IV



Sl. 1
Fig. 1



Sl. 2
Fig. 2



Sl. 3
Fig. 3

THE EVOLUTION OF IGNEOUS AND PYROCLASTIC ROCKS IN THE REGION OF THE BOR COPPER ORE DEPOSIT

Matija Drovenik

CONTENTS

Introduction 113
The Sequence of Beds from the Paleozoic to the Upper Cretaceous . . 114
The Sequence of Upper Cretaceous Beds 114
Senonian Sandstone and Calcareous Pelite 114
Pyroclastic Rocks 114
Bor Conglomerate 117
Bor Pelite with Tuff and Tuffite 117
Igneous Rocks 118
Plutonic and Vein Rocks 118
Volcanic Rocks 118
The Age of the Pyroclastic and Volcanic Rocks in the Bor Copper Mine and Surroundings 121
Petrological Characteristics of Igneous and Pyroclastic Rocks 122
The Origin of Igneous Rocks 124

INTRODUCTION

From 1948 to 1958, in the Timok igneous rocks area, copper ore deposits were explored by mining works and drilling operations, on sites where indications on the surface suggested their occurrence. During these explorations, many data were collected and interpreted in subsequent studies of the origin of copper ore deposits and their relation to magmatic processes in the Upper Cretaceous and Tertiary. The subject of particular interest was in establishing the origin of the Bor copper ore deposit, where the copper mineralization mainly occurs in pyritic ore bodies. It was intended to find out whether the mineralization had taken place in the Upper Cretaceous or in the Tertiary, and this in connection either with Paleogene plutonic rocks, subvolcanic andesites (Cissarz, 1956), Oligocene dacites (Marić, 1957) — or with a younger differentiation of magma in the core of the Alpine orogen (Clar, 1946).

This paper is covering a part of the author's study on the petrology and geology in the area around the Bor copper mine. The primary intention is in establishing the kinds of pyroclastic and igneous rocks present in the environs of Bor, their spatial and mutual relationship, and the sequence of their formation. A geological map of the Bor region is attached, covering about 150 sq. kilometers. Samples of igneous, pyroclastic, and clastic rocks, were investigated microscopically and chemically. The chapter on tectonics and about the age of the Bor copper ore deposit will be added to another paper dealing with its geology and mineralogy.

THE SEQUENCE OF BEDS FROM THE PALEOZOIC TO THE UPPER CRETACEOUS

The oldest rocks in the environs of Bor are Paleozoic schists occurring on the eastern slope of Veliki Krš hill, at the eastern foot of Goli Krš hill, and in the lower part of the thrust sheet at the Todor Potok brook. The outcrops of Hercynian plagiogranite are isolated.

The first products of the Mesozoic epirogenesis are represented by Liassic conglomerate and sandstone. The two rocks are characteristic Lower Jurassic formation of this part of Eastern Serbia, following the eastern border of the magmatic area. Upper Jurassic and Lower Cretaceous limestones build the crests of the Veliki Krš and Goli Krš. These crests, striking NNW-SSE, form a morphologically clearly outlined boundary between volcano-sedimentary formations of the Timok magmatic area and metamorphic and magmatic rocks of the Gornjane—Bela Reka crystallinic. Moreover, Mesozoic limestones build numerous thrust sheets in southeastern extension of Veliki Krš, and thrust sheet of Kriveljski Kamen hill. These limestones strike NW-SE and dip always SW.

In numerous places Lower Cretaceous limestones are overlain by Albian sandstone of similar strike and dip. Its grains originate mainly from the Gornjane—Bela Reka crystallinic. Zonal plagioclase grains of intermediate composition, common for volcanic rocks in the Timok magmatic area, were not found in sandstone. Therefore pre-Cretaceous andesite and dacite eruptions, which might have occured synchroneously with Triassic vulcanism in the Dinaric Alps, are not probable.

THE SEQUENCE OF UPPER CRETACEOUS BEDS

Senonian sandstone and calcareous pelite

Senonian sandstone and calcareous pelite are by far more widely spread than shown on existing geological maps. They occur between the Kriveljska Reka stream and the crests of Veliki Krš and Goli Krš, building there some thrust sheets. Moreover, pelite intercalations and sheets could be found in different pyroclasts. Neither zonal plagioclase grains of intermediate composition nor dacite or andesite grains were found in the lower part of sandstone; the corresponding tuff intercalations are absent, too. Therefore, it seems not very likely that Cretaceous, pre-Senonian eruptions took place in this area. The first andesine and labradorite grains of zonal growth, as well as the first tuff and tuffite beds and sheets were encountered no sooner than in the upper part of sandstone. The pelite in the hanging wall of sandstone often contains tuff and tuffite beds. The plagioclase grains, the tuff and the tuffite sheets in sandstone are the first signs of Senonian vulcanism.

Pyroclastic rocks

Volcanic activity rapidly intensified. By submarine eruption enormous masses of pyroclastic material have been ejected and deposited in alternation with clastic sediments. Pyroclastic rocks of hornblende andesite are the oldest.

In the stratigraphic column the pyroclastic rocks of hornblende-biotite andesite and hornblende-biotite dacite are underlain by them. Pyroclastic rocks of amygdaloidal pyroxene andesite and pyroclastic rocks of some varieties of hornblende andesite can be observed locally. To the west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole the youngest pyroclastic rocks are found. They are built of fragments of pyroxene, pyroxene-hornblende, hornblende-pyroxene, hornblende and amygdaloidal pyroxene andesites. At many places the pyroclasts were cut across by dikes of volcanic rocks; locally, however, andesitic and dacitic magma solidified in subvolcanic intrusions.

Pyroclastic rocks of hornblende andesite are predominantly built up of volcanic breccia, on a lesser degree of agglomerate, and subordinately of tuff. We found them in the eastern and western part of the Gorge of Krivelj, on the northern slope of Gurgula hill, on the southern slopes of the hills Kriveljski Kamen and Čoka Čuruli, and finally at the eastern foot of Kraku Kalafir hill. Numerous specimens were microscopically examined in detail and their mode composition specified. No greater difference were found. The form of the hornblende crystals is generally automorphic. Plagioclase phenocrysts, belonging to labradorite, contain from 54 % to 64 % An.

Pyroclastic rocks of hornblende-biotite andesite are spread over vast areas. In the environs of Bor they build two parallel belts, the Bor belt and the Krivelj belt, both striking NW-SE. The width of the Bor belt averages 600 m. It extends from the village of Brestovac, through the town of Bor and the village of Mali Krivelj, towards the village of Vlaole. In this belt the volcanic breccia of timocite prevails; it is a variety of hornblende-biotite andesite with relatively large phenocrysts of hornblende and biotite (B r e i t h a u p t, 1860).

The most typical timocite volcanic breccia was found in the open pit of Čoka Dulkan. The diameter of andesite fragments varies mainly from 15 to 35 cm, and the ratio between the fragments and the matrix oscillates between 2:1 and 6:1. Plagioclase phenocrysts contain from 52,5 to 67 % An; Niggli's values, however, indicate that the rocks solidified from diorite magma. Beside the fragments of hornblende-biotite andesite, there are also fragmnets of a more basic variety. Locally there also occur fragments of hornblende-biotite dacite, and very rarely fragments with copper sulfides (D r o v e n i k, 1966). Timocite breccia is not bedded. Consequently, the dip and the strike of the Bor belt pyroclasts were determined on the basis of the beds of tuff, tuffite, and calcareous pelite. These beds strike generally N 325° to 330° W, and dip usually 30° SW. In the Čoka Dulkan open pit, a conformable bed of volcanic breccia, composed of hornblende-biotite dacite is imbedded in timocite pyroclasts overlain by a volcanic breccia of hornblende andesite. The boundaries among different pyroclastic rocks are built up of red Senonian calcareous pelite, developed at intervals of volcanic eruptions.

The Krivelj belt of hornblende-biotite andesite pyroclasts extends between Lozino Polje and the western slope of Gurgula. It is somewhat narrower than that of Bor. The pyroclastic rocks of hornblende andesite occur in its footwall, and calcareous pelite in its hanging wall. The stratigraphic succesion of the pyroclastic rocks of the Krivelj belt can be best observed in the middle part of the Gorge of Krivelj. The volcanic breccia of hornblende andesite is overlain by a breccia of fragments with comparatively small phenocrysts — atmost 5

mm in diameter — of plagioclase, hornblende, and biotite. This andesite belongs to quartz diorite (peleeite) magma. Large phenocrysts, in diameter up to 1,5 cm, are characteristic for the fragments of hornblende-biotite andesite ejected by subsequent eruptions; Niggli's values indicate diorite magma. In the fragments of breccia the size of phenocrysts gradually changes, and therefore, the transition into timocite volcanic breccia is gradual. Plagioclase phenocrysts of timocite contain in the average 59 % An, the chemical composition of the fragments, however, points to a quartz diorite (peleeite) type of magma. The volcanic breccia of the Krivelj belt is not bedded. The tuff, tuffite and pelite beds, are here more abundant than in the Bor belt; they strike NW-SE and always dip towards SW.

Pyroclastic rocks of hornblende dacite spread over a vast area. They are represented by volcanic breccia, agglomerate, tuff and tuffite which can be found between the Rudjina Banjica and Bele Vode. The fragments of dacite average in diameter from 20 to 40 cm; plagioclase phenocrysts, belonging to andesine, contain usually 45 % An. Four specimens were chemically analysed (Tables 13, 14, 15, 16). Their chemical analyses show that they are the most acidic volcanic rocks in the environs of Bor. According to Niggli's values they belong to a quartz diorite type of magma. The conformable beds of tuff, tuffite, and sandstone strike NW-SE, and dip in the western part generally 35° towards SW, and in the eastern part 25° to 50° towards NE. Frequent remnants of microflora and microfauna can be found in tuffite, thus indicating the Upper Cretaceous, most probably Senonian age of these sediments.

The volcanic breccia in the region Bor—Brestovac—Brestovačka Banja is very heterogeneous. It contains fragments not only of different andesites (pyroxene, pyroxene-hornblende, hornblende-pyroxene, hornblende and amygdaloidal pyroxene andesites) but also fragments of thermometamorphosed granite and some isolated fragments with copper sulfides.

These pyroclastic rocks form the hills Čoka Boruluj, Prvulovo Brdo, Čoka Trnjana, Trnjana, and Balta Djoni. From there, they spread westwards almost to the boundary of the igneous rocks area, northwards as far as the town of Majdanpek, and southwest as far as the village of Bučje near the town of Knjaževac. The phenocrysts in the andesite fragments are smaller than those in andesites from other pyroclasts. The diameters vary between some tenths of mm to 3 mm; only hornblende came up to 9 mm in some specimens. The most frequent are plagioclases whose composition is different, but labradorite and bytownite are predominant. Mafic components are represented by augite, hypersthene, and hornblende, the quantity ratio changing from one specimen to another. The groundmass is generally pilotaxitic and hyalopilitic. In the lower part of these rocks massive tuff and tuffite occur. Bedded tuff and tuffite are rather rare. Their beds strike from N 315° to 355°W and dip towards SW.

In the course of investigations around Bor the following characteristics were observed:

1. Pyroclastic rocks strongly prevail over igneous rocks. This points to a violent extrusive volcanic activity.

2. Volcanic bombs, neither breadcrust nor spindle-shaped bombs, occur. The breccia fragments are generally angular, in some places also subangular.

The groundmass of andesite fragments is hyalopilitic, pilotaxitic, kryptocrystalline, and in some fragments also microcrystalline. Phenocrysts are often crumbled off or crushed.

3. Volcanic breccia is of a rather homogeneous composition. Besides andesite, and dacite fragments, almost no other rocks occur. The only exception is the breccia in the region Bor—Brestovac—Brestovačka Banja, containing fragments of volcanic rocks as well as fragments of altered Paleozoic granite.

4. The intercalations of pelitic sediments in pyroclasts, and the gradual transition between both rocks show that pelites and pyroclasts developed during the same time, and that the pyroclastic rocks are products of submarine volcanic eruptions. Pillow lavas could not be found.

For these reasons it can be concluded that lava most frequently solidified already in the volcanic vents themselves. Afterwards, under enormous pressure of gases in the vents, the solidified andesites and dacites were crushed and their fragments and blocks ejected into the sea, together with huge masses of fine pyroclastic material. These processes must have been due to activities of Ultra-Vulcano type.

Bor conglomerate

The crest separating the valleys of the streams Borska Reka and Kriveljska Reka is made up of conglomerate and sandstone. As the conglomerate, prevailing in these sediments, was first found around Bor, it was named the Bor conglomerate. Conglomerate and sandstone extend in a belt wide about 700 m, from the Buzej Potok brook to the village of Brestovac, and from there towards the village of Metovnica. Their strike is about N 325° W and they dip rather steeply to the SW. In the hanging wall they are cut by a strong reverse fault.

The transitions from psephites to psammites and vice versa, are a characteristic feature of these clastic rocks. Pebbles range in diameter from 0,5 to 40 cm, and differ widely in composition. They originate, from the rocks of Gornjane—Bela Reka crystallinic area, from Mesozoic sediments of the eastern border of the magmatic area, as well as from igneous and sedimentary rocks of the close environs of Bor. The timocite pyroclastic rocks grade into Senonian calcareous pelite, and the latter into sandstone and conglomerate. Consequently, the author believes the Bor conglomerate to be a particular facies of Upper Cretaceous, most probably, Senonnian, but possibly Danian.

Bor pelite with tuff and tuffite

The major part of the town of Bor is situated on pelite, accompanied by tuff, tuffite, and in a smaller amount also by volcanic breccia. This rocks extend from Bor towards NW to the Krutome Potok brook and southwards, past Brestovac to Metovnica. The width of the whole series attains about 180 m; the beds strike N 320°—330° W, and dip from 5° to 80°, generally at 30° to the SW. The series can be divided in three parts. The lower part consists of timocite pyroclastic rocks and pelite. In the middle part calcareous and silicate

pelite are the most abundant rocks, and in the upper one, the pelite is intercalated by pyroclastic rocks of the hanging wall of the pelitic series.

The gradual transition of timocite pyroclastic rocks into Bor pelite in the open pit of Čoka Dulkan and elsewhere, indicates, that Bor conglomerate and Bor pelite have been deposited on the same basis of the timocite pyroclastic rocks. They differ only genetically: conglomerate and sondstone developed close to the shore, and pelite in the open sea. Conglomerate and pelite must have come to their present position during younger orogenic phases.

IGNEOUS ROCKS

Plutonic and vein rocks

In the surroundings of Bor only isolated outcroups belong to plutonic and vein rocks.

At Bučje and north-west of it some plagiogranite outcrops can be seen, belonging to the Gornjane-Tanda granite group of Hercynian age. Two smaller, strongly mylonitized outcrops occur between longitudinal faults.

A diorite outcroup, rather altered, was encountered along the Todor Potok in the hydrothermally altered zone of Veliki Krivelj. The hypidiomorphic-porphyritic texture indicates that the solidification of this plutonic rock took place at lesser depth. By the size of the outcrop, we may estimate that it forms a larger apophysis. The composition of zonal grown plagioclase grains changes from andesine in the borders to bytownite in the cores. Mafic constituents are hornblende, augite and biotite. In the altered zone of Veliki Krivelj also quartz-diorite porphyry was encountered in the course of exploration drilling. The texture is holocrystalline porphyritic. Plagioclase phenocrysts contain 40 to 47 % An; anorthoclase also occurs in the hypidiomorphic granular groundmass. Quartz is very common. The dark minerals are hornblende and biotite. Diorite and quartz diorite porphyry followed the longitudinal fault and opened the way to subsequent hydrothermale solutions. The adjacent andesite and their pyroclastic rocks were epidotized, chloritized, biotitized, and silicified. whereas calcareous pelite and limestone altered to skarn.

The quartz diorite, found during a drilling operation under Čoka Čuruli (M a r i ć , 1957), resembles in texture the diorite from Todor Potok. It consists of labradorite, quartz, hornblende, and biotite. The rock solidified from dioritic (leucopeleeitic) magma. Quartz diorite porphyry cutting across the Lower Cretaceous limestone of Kriveljski Kamen and metamorphosing it, has a very similar composition. The two rocks follow another longitudinal fault, parallel and in the south of the fault mentioned above.

Volcanic rocks

Older geological maps of the Bor surroundings show volcanic but no pyroclastic rocks. In fact, pyroclastic rocks prevail in this area, although also outcrops of volcanic rocks occur, but in a lesser extent.

Hornblende andesite is the most frequent. It can be found to the east and to the west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Hornblende

andesite to the east of this line, is usually light gray, light green or light grayish green. It is distinguished by comparatively larger hornblende phenocrysts attaining up to 6 cm in a variety from the Gorge of Krivelj. The composition of plagioclases changes locally. The most acidic plagioclase occurs in a variety found on the northwestern slope of Gurgula; here the quantity of anorthite varies between 45 % and 51 %. The hornblende andesite from the western slope of Kriveljski Kamen contains plagioclases with 51,5% An, the andesite from Veliki Krivelj 52% An, and the variety from the Gorge of Krivelj 54% An. The similar chemical composition of these andesite varieties is indicated by Niggli's values showing their origin from quartz diorite (peleeite) magma. Hornblende andesite occurring west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole is of gray, grayish green and grayish colour, its phenocrysts are small. Plagioclases are here a little more basic and contain 57 % to 60 % An. Hornblende andesite, west of Bor builds usually small dikes and necks; on the hills Tilva Mik and Paca Mare, however, it is intercalated in a volcanic breccia. Therefore, we believe it to be a relatively viscous lava flow.

Hornblende-biotite andesite was found only to the east of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Among its varieties timocite is by far the most remarkable, building around Bor two larger subvolcanic intrusions and some smaller dikes. Larger prismatic phenocrysts of hornblende and biotite, attaining up to 4 cm in diameter, are very characteristic; on the contrary, the phenocrysts of labradorite, with 55 % An, rarely exceed 5 mm. The groundmass is always holomicrocrystalline. Niggli's values of timocite from Bor indicate that it solidified from a quartz diorite magma. In this volcanic rock occurs the Bor copper ore deposit. Other varieties of hornblende-biotite andesite differ from timocite in containing somewhat smaller phenocrysts; having, similar chemical composition. Plagioclase phenocrysts in the light gray hornblende-biotite andesite from Rudjevica contain 50 % to 55,5 % An; the magma is of quartz diorite type. The grayish green variety of andesite from Veliki Krivelj has plagioclase phenocrysts containing 50.5% to 54.5% An; it originates from a quartz diorite (peleeite) magma. The smallest phenocrysts were found in hornblende-biotite andesite at Livada Denka; plagioclases range from 0,4 to 0,8 mm, hornblende and biotite from 1 to 2 mm. Plagioclases belong to labradorite. Niggli's values point again at quartz diorite type of magma.

The dark gray, almost black pyroxene andesite builds to the west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole numerous but small dikes and necks. The volcanic rock is composed of tiny plagioclase phenocrysts, augite, hypersthene and a hyalopilitic or pilotaxitic groundmass. Hornblende occurs as an accessory and is less common. The relatively larger plagioclase grains contain 66 % to 89 % An, the smaller ones approximatively 60 % An. Niggli's values of the pyroxene andesite cutting across the Bor pelite SE of Čoka Bare hill, indicate a leucogabroide (belugite-ossipite) magma, and is the most basic andesite variety around Bor. Its composition is very similar to that of pyroxene andesite from Sumrakovac and Zlot (T o m i ć , 1931), to that of andesite-basalt from Brestovačka Banja (I l i ć , 1953/54), and to that of pyroxene andesite from the southwestern slope of the Prvulovo Brdo mountain (M a r i ć , 1957).

Pyroxene-hornblende and hornblende-pyroxene andesites, like pyroxene andesite, occur mainly to the west of Bor. Pyroxenes and hornblende alternatively predomininate in these volcanic rocks. They can be divided into two groups, according to their colour and the size of their phenocrysts. The first group comprises the dark gray, almost black and always massive varieties, very similar to pyroxene andesite, whose description has been given above. Plagioclase grains in pyroxene-hornblende andesite contain from 78,5 to 87 % An, and in hornblende-pyroxene andesite on the average 58 % An.

The volcanic rocks of the second group are gray or grayish green. They include somewhat larger phenocrysts: plagioclases reach up to 2,5 mm, augite 7 mm, and hornblende sometimes up to 12 mm. Hypersthene is not present in these andesites. The varieties containing more pyroxene include plagioclases with about 73 % An, but in the varietes containing predominantly hornblende, plagioclases range from 65,5 to 83,5 % An.

In the volcanic breccia of hornblende dacite, a few hundred meters to the south of the road Kornjet Petko-Vidzurin, two small dikes of pyroxene-biotite andesite occur. The rock is dark green, almost black, with tiny phenocrysts of plagioclase, augite, and biotite. The composition of plagioclase grains changes from 65 % to 80 % An. Niggli's values of andesite from the larger outcrop speaks for the leucogabroide (belugite) type of magma. Its plagioclase phenocrysts and the chemical composition point to the relationship of pyroxene-biotite andesite with pyroxene and hornblende-pyroxene andesites in the area of Bor—Brestovac—Brestovačka Banja.

In addition to andesites, volcanic rocks containing also quartz phenocrysts were found around Bor. With regard to their mineral and chemical compositions we believe that they belong to hornblende-biotite dacite; its outcrops always occur to the east of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Pyroclastic rocks are cut by dacite dikes and necks in several places, e. g. pyroclasts of hornblende-biotite andesite on Rudjevica and on Čoka Robule Hill, and pyroclasts of hornblende andesite at Kriveljska reka. Moreover, dacite cuts the subvolcanic timocite intrusion at Bor and calcareous pelite at the western foot of Kosta Ilija. Finally, dacite abounds on Kriveljski Kamen, lying there between two faults; it is strongly crushed along the fault. Hornblende-biotite dacite of light gray or light grayish brown colour has always a characteristic porphyritic texture. The plagioclase phenocrysts with 41% to 49% An are usually somewhat larger, the femic ones, however, a little smaller than those in the varieties of hornblende-biotite andesite. Niggli's values of the two dacites show, that this rock solidified from granodiorite (leucotonalite) and quartz diorite (quartzdiorite) magma.

Concluding, we have to state that the examined andesites and dacites do not show any indication of autometamorphic alterations. The large phenocrysts in the rocks, to the east of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole indicate, that the magma was rich in volatiles during the time of crystallization. Then, advancing to the surface, the volatile substances dispersed and thus prevented autometamorphism. Therefore the subvolcanically solidified volcanic rocks, like the timocite at Bor, have unaltered hornblende and biotite. It is characteristic as well, that also the pyroclastic rocks which surround the volcanic rocks, did not undergo any alterations either. A slight contact meta-

morphism was observed only in calcareous pelite brought in contact with dacite at the foot of Kosta Ilija. Hydrothermal alterations effecting the pyroclastic and igneous rocks on Mali Krivelj, Veliki Krivelj and around Bor, spread along the longitudinal faults. These alterations, in any case, took place later than the andesite and dacite volcanic action.

THE AGE OF THE PYROCLASTIC AND VOLCANIC ROCKS IN THE BOR COPPER MINE AND SURROUNDINGS

The fresh zonal andesine and labradorite grains, as well as andesite tuff and tuffite intercalations in the upper part of the Senonian sandstone show, that the volcanic eruptions around Bor started in the Senonian stage.

Bor pelite and Bor conglomerate play an important part in defining the age of pyroclasts which erupted subsequently. The succession of beds indicates that conglomerate and pelite have been deposited during the interval between the two volcanic phases.

The pyroclastic rocks overlain by Bor pelite and conglomerate, originated in the first volcanic phase. These are pyroclastic rocks of hornblende andesite, hornblende-biotite andesite, hornblende dacite, hornblende-biotite dacite and amygdaloidal pyroxene andesite occurring east of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. Their Senonian age can be determined by the sheets and beds of calcareous pelite with Senonian microfossils. From the occurrence of Senonian Bor conglomerate and Bor pelite in the hanging wall of pyroclasts of the first volcanic phase, we can conclude that this phase came to end in the Upper Cretaceous.

The second volcanic phase comprises the pyroclastic rocks occurring in the hanging wall of Bor pelite, and can be observed mainly to the west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. These are pyroclastic rocks of pyroxene, pyroxene-hornblende, hornblende-pyroxene, hornblende and amygdaloidal pyroxene andesites. The corresponding volcanic breccia already present in the upper part of Bor pelite indicates that the second volcanic phase set in the Senonian stage. There are, however, no reliable data about its duration, since no key sediments are present in the area Bor, Brestovačka Banja and Crni Vrh. The circumstance, however, that the pyroclasts on Crni Vrh — and elsewhere in the magmatic area — are cut by veins and stocks of Laramian igneous rocks, indicates that the second volcanic phase ended most probably before the Laramian orogeny in the Eocene set in. The age of the solidification of the volcanic rocks remains to be determined.

The majority of andesites and dacites appearing in the area to the east of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole, differ neither in their appearence nor in their mode and chemical compositions from the fragments in the corresponding volcanic breccia. Moreover, the phenocrysts in andesite (dacite) dikes and andesite (dacite) fragments from volcanic breccia are of the same habitus and size. Hence it is admissible to coclude that to the first phase belong all varieties of hornblende and hornblende-biotite andesites, as well as hornblende-biotite dacite.

The andesites occurring west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole differ neither in colour, texture, size of phenocrysts, nor in mineral composition from the corresponding fragments building the pyroclastic rocks of the

second volcanic phase. Therefore, their relationship in age and origin may be accepted without doubt. It has to be added that the volcanic rocks of the second phase were also present around Veliki Krivelj and Bučje; they occur as dikes cutting the Cretaceous clastic sediments and pyroclasts of the first volcanic phase. Geological examinations of other parts of the Timok magmatic area show, that Laramian magmatites are nowhere cut by the volcanic rocks of the second phase. It follows that they solidified before the Laramian orogeny.

Questionable is, in any case, the age of the albite trachyte occurring at the village of Brestovac (I l i ć, 1957). It is possible that trachyte crystallized at the end of the andesite-dacite vulcanism. However trachyte might also be an effusive variety of Laramian plutonics.

It follows, that the volcanic activity around the Bor copper ore deposit began in the Senonian. Most probably the majority of pyroclastic and volcanic rocks developed already in the Upper Cretaceous. The volcanic activity might have extended into the Paleogene, but, in any case, it ceased before the Laramian orogeny. Consequently, there are no volcanic rocks of Neogene or even of Quaternary age.

PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF IGNEOUS AND PYROCLASTIC ROCKS

All the data collected during geological mapping and laboratory examinations led to the conclusion that the volcanic and pyroclastic rocks around Bor developed in two volcanic phases. In order to explain the origin of these rocks, and particularly the magmatic evolution, it would be interesting to look at their petrological characteristics.

In our opinion, the first volcanic phase set in with submarine eruptions of hornblende andesite, which were followed by eruptions of hornblende-biotite andesite, and subsequently by hornblende-biotite dacite and hornblende dacite. After these processes the first volcanic phase was not yet completed. On the contrary, eruptions of hornblende andesite, and to a limited extent also those of amygdaloidal pyroxene andesite recurred sporadically. The volcanic rocks of the first phase are predominantly light gray, gray and grayish green: they contain comparatively large phenocrysts, and always, show a porphyritic texture. Andesites and dacites, occurring in dikes and necks, have usually a holocrystalline groundmass. On the other hand, the groundmass of the fragments and blocks in pyroclasts is either microcrystalline, cryptocrystalline or hyalopilitic.

Plagioclase grains with 40 % to 56 % An (according to Kaaden's curves for high-temperature plagioclases) predominate greatly among phenocrysts. Quartz can be found only in dacites. Hornblende — up to 6 mm in lenght — is a most common mafic component; it is accompanied by biotite in numerous andesite and dacite varieties. Augite is very rare; but it is present in larger amounts in amygdaloidal pyroxene andesite.

The mineralogically contrasted volcanic rocks of the first volcanic phase show a rather uniform chemical composition. *Si* range from 54,50% to 63,10%,

and alumina from 15,80% to 19,56%. The rocks are high in lime and relatively low in alkalies. Peacock's index is 62, consequently they already belong to the calcic group of rocks. Niggli's values indicate that andesites and dacites have been derived from quartz diorite and partly also from granodiorite and diorite magma. Only the origin of amygdaloidal pyroxene andesite can be attributed to leucogabroide magma. The *si* value varies between 154 and 248, *al* value between 29 and 39, *fm* value between 26 and 35, *c* value between 17 and 27, and *alk* value between 9 and 19. The volcanic rocks of the first volcanic phase may be classified in the group of saturated rocks, since their projections lie in the *QLM* diagram over the saturation line. In the $k - \pi$ diagram the values for *k* lie under the line joining $k = 0{,}35$ with the pole *Cal*. On the other hand, the $mg - \gamma$ diagram shows projections in a field limited by the values $mg = 0{,}41—0{,}64$ and $\gamma = 0{,}09—0{,}24$.

The volcanic rocks of the second volcanic phase occur predominantly west of the line Brestovac—Bor—Mali Krivelj—Vlaole. They cut across their own pyroclastic rocks, and are only locally overlain by them. Judging from the andesite fragments of the upper part of Bor pelite, the eruptions must have set in with dark gray and dark green pyroxene-hornblende, hornblende-pyroxene and amygdaloidal pyroxene andesites, followed by hornblende andesite. The youngest are dark gray, almost black pyroxene, pyroxene-hornblende and hornblende-pyroxene andesites. Small phenocrysts are a characteristic feature of these volcanic rocks. Their groundmass is hyalopilitic, cryptocrystalline and pilotaxitic. Rare dikes of pyroxene, pyroxene-hornblende and pyroxene-biotite andesites cutting the pyroclasts of the first volcanic phase to the east of Bor, also solidified in the second phase.

Plagioclase phenocrysts, with a diameter of 0,3 to 1,5 mm, contain from 50% to 84% An. Mafic constituents are augite, hypersthene, and hornblende; biotite is scarce. The diameters of mafic constituents rarely exceed 5 mm. Their quantity ratio changes from variety to variety.

In the volcanic rocks of the second volcanic phase silica ranges from 47,40% to 60,02%, and alumina from 17,48% to 20,26%. Alkalies are usually lower than lime. Niggli's values indicate that the majority of rocks crystalized from leucogabroide magma. The *qz* value changes from — 23 to + 26. The *si* value varies from 117 to 165, with only one exeption *si* 208 (Marić, 1957, pyroxene andesite at the church of Bor), *al* value varies from 26 to 37,2, *fm* value from 19,4 to 39,5, *c* value from 22 to 30,2, and *alk* value from 6 to 20,6. The projections of the volcanic rocks of the second volcanic phase lie in the diagram *QLM* above and below the saturation line. In the $k - \pi$ diagram the points, representing differents andesites, approach the line joining $k = 0{,}35$ with the *Cal* pole. Some points can be found even over this line, indicating already the transition to potassium varieties. The projections of volcanic rocks of both the first and the second phase are to be found in the same field of the $mg - \gamma$ diagram.

The data of the *QLM*, $k - \pi$ and $mg - \gamma$ diagrams show that the projections of the volcanic rocks belonging to the second volcanic phase and the projections of the volcanic rocks from the Bulgarian Srednegorje often lie in the same field indicating their petrochemical relationship.

THE ORIGIN OF IGNEOUS ROCKS

The mode and the chemical compositions of volcanic rocks, belonging to the first and the second volcanic phases, and the corresponding variation diagrams show, that the differentiation from the parent magma developed normally, withouth intensive assimilation or contamination. From the kind of the rocks can be concluded that the differentiation did not last for a long time: there occur, neither more basic — basaltic, nor acidic — rhyolitic varieties, which otherwhere often accompany the andesite vulcanism in the orogenic belts.

It is most likely that the volcanic rocks in the region of the Bor copper ore deposit developed from the original diorite magma. In the course of differentiation the quartz diorite and even granodiorite, and the leucogabroide magma were formed. The upper part of the magma chamber contained quartz diorite magma of lesser specific gravity, whereas the lower part consisted of a heavier, leucogabroide variety. The evolution of the vulcanism might have been as follows:

— In the upper part of the magma chamber, with sufficient water and at somewhat lower temperature, the crystallization rapidly advanced. Plagioclase (± quartz) phenocrysts, as well as hornblende and biotite crystallized there. Magma containing well formed and relatively large phenocrysts, either rised towards the surface forming dikes and necks, or solidified in form of subvolcanic instrusions bellow the cover of pyroclastic and clastic sediments. In this way the pyroclastic and the volcanic rocks of the first volcanic phase developed. Pyroclastic rocks of amygdaloidal pyroxene andesite overlying the timocite pyroclasts of the Krivelj belt indicate that magma from the lower part of the magma chamber also penetrated to the surface in some places.

— After an interval, new tectonic movements opened the way to magma from greather depths. This contained comparatively smaller plagioclase phenocrysts and mafic components. Volcanic and pyroclastic rocks of the second volcanic phase developed covering Bor conglomerate, Bor pelite, and the pyroclasts of the first volcanic phase as well.

With the second volcanic phase the magmatic evolution around Bor, however, was not yet finished. Along the longitudinal faults of the Laramian orogeny, plutonites occur in some places, and in others their hypabyssal equivalents such as quartz diorite, diorite and quartz-diorite porphyry. Andesites and their pyroclasts are most often cut by these rocks. Quartz diorite and diorite are of similar mineral and chemical compositions as some plutonites in the area Crni Vrh—Potoj Čuka—Oman; on the other hand, quartz-diorite porphyry is similar by its mineral composition to the variety of quartz-diorite porphyry from the valley of the Dumitri stream. In the Bulgarian Srednegorje and in the other parts of the Timok magmatic area, plutonites and their hypabyssal equivalents are closely connected with the Laramian orogeny. All this leads to the conclusion that also plutonic and vein rocks around Bor have relations to this orogeny.

Laramian igneous rocks were accompanied by hydrothermal solutions alterating volcanic rocks, pyroclasts as well as calcareous pelite and limestone. The observed alterations are chloritization, argillitization, silicification, epido-

tization and alunitization; calcareous pelite and limestone turned into skarn. In this way three hydrothermally altered zones developed along the longitudinal faults: at Mali Krivelj, Veliki Krivelj and at Bor. Copper deposits and occurrences of copper ores are known in each zone. The greatest copper metal concentration took place in the Bor zone. The Bor ore deposit contained more than two million tons of copper.

LITERATURA

Aleksić, D. 1966, Prikaz detaljnije istraživanih zona u timočkom masivu: Veliki Krivelj. Savetovanje o rezultatima dosadašnjih i orientaciji budućih istraživanja bakarne mineralizacije na teritoriji SFRJ, Bor.

Antonijević, I. 1956, Izveštaj o geološkom kartiranju timočkog eruptivnog masiva u 1956 godini. Poročilo v rokopisu. Beograd.

Antonijević, I. 1957, Timočki eruptivni masiv. Zapisnici Srpskog geološkog društva za 1957 godinu. Beograd.

Antonijević, I. 1957, Novi podaci za razviće i rasprostranjenje golta u Istočnoj Srbiji. Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraživanja NRS, knj. XII. Beograd.

Antonijević, I. 1958, Donja kreda izmedju Krivelja i Bučja. Vesnik Zavoda za geol. in geof. istraživanja NRS. Beograd.

Antonijević, I. 1961, Geološka gradja Timočko-pečke eruptivne oblasti. III. kongres geologov FLRJ v Budvi 1959. Titograd.

Antonijević, I. 1964, Stratigrafija i tektonika Velikog Krša i Stola u Istočnoj Srbiji. Doktorska disertacija. Beograd.

Antula, D. 1909, Geološka istraživanja u timočkom andezitskom masivu. Godišnjak rud. odeljenja, knj. II. Beograd.

Barth, F. W. 1952, Theoretical Petrology. New York.

Barth, F. W. 1955, Presentation of Rock Analyses. The Journal of Geology, vol. 63. No. 4.

Billings, M. P. 1950, Structural Geology. New York.

Bogdanović, P. 1965, Starost borskih klastita i njihov značaj za tektoniku šire okoline Bora, Skupščina SGD, 10. decembra 1965. Beograd.

Breithaupt, A. 1860, Geognostische Beschaffenheit des östlichen Serbiens. Berg- und Hüttenmänn. ZTG. 20, 51.

Burri, C. in Niggli, P. 1945, Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. Zürich.

Cissarz, A. 1956, Lagerstätten und Lagerstättenbildung in Jugoslawien und ihre Beziehungen zu Vulkanismus und Geotektonik. Mémoires du service géologique et géophysique de la R. P. Serbie. Beograd.

Clar, E. 1946, Das Alter der Vererzung von Bor (Ostserbien). Verhandlungen der geol. Bundesanstalt, Nr. 10—12. Wien.

Dimitrov, Str. 1946, Metamorfnite i magmatičnite skali v Blgarija. Osnovi na geologijata na Blgarija. Godiš. na direkcijata za geol. i mini proučvanija, Otdel A, tom 4. Sofija.

Dolar-Mantuani, L. 1935, Razmerje med tonaliti in apliti pohorskega masiva. Geološki anali balkanskog poluostrva, knjiga XII, sveska 2. Beograd.

Drovenik, F. in M. 1956, Dosadašnje znanje o orudnjenju u timočkom andezitskom masivu. Prvi jugosl. geol. kongres, Ljubljana, 1954.

Drovenik, M. 1955, Kontaktno metamorfni pojavi in orudenenje območja Potoj Čuka—Valja Saka. Geologija 3. Ljubljana.

Drovenik, M. 1959, Prispevek k poznavanju magmatskih kamenin timoškega eruptivnega masiva. Geologija 5. Ljubljana.

Drovenik, M. 1961, Geološko petrološka študija širše okolice rudnika Bor (Vzhodna Srbija). Doktorska disertacija. Ljubljana.

Drovenik, M. 1966, Mineralni sastav i geneza odlomaka sa bakarnim sulfidima iz piroklastičnih stena šire okoline rudnika Bor. Rudarsko-metalurški zbornik št. 4. Ljubljana.

Drovenik, M., Antonijević I., Mičić I. 1962, Novi pogledi na magmatizam i geološku gradju timočke eruptivne oblasti. Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knjiga XX, serija A. Beograd.

Drovenik, M., Djordjević M., Antonijević I., Mičić I. 1967, Les roches magmatiques de la région éruptive de Timok. Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae Tomus 11. Budapest.

Eröš L. 1893, Petrografske študije trahitskih i granitskih stena u istočnoj Srbiji. Geološki anali V, deo 1. Beograd.

Gagarin Gr. 1940, Sijeniti planine Ržane. Vesnik Geol. inst. kralj. Jugoslavije. Beograd.

Heinrich, E. 1956, Microscopic Petrography, London—New York.

Heise, W. 1933, Die Kupfererzlagerstätte von Bor in Abhängigkeit von der Tektonik Ostserbiens. Zeit. deutsch. geol. Gesellschaft, 133, 85.

Hoffmann, F. 1892, Izveštaj o rudarskim istraživanjima po požarevačkom i od česti krajinskom okrugu. Godišnjak rud. odeljenja. Beograd.

Ilić, M. 1953/54, O pojavama andezitbazalta kod Brestovačke Banje, Bora i Malog Krivelja. Zbornik radova Geol. i Rudarskog fakulteta TVŠ. Beograd.

Ilić, M. 1957, O pojavama albitskih trahita u okolini Brestovačke Banje. Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knjiga XIII. Beograd.

Johannsen, A. 1952, A descriptive petrography of the igneous rocks, Chicago.

Jung, J. 1958, Précis de petrographie. Paris.

Knežević, V. 1967, Fragments de granit dans les brèches volcaniques de Brestovačka Banja et Bor. Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae Tomus 11. Budapest.

Kochansky-Devidé, V. 1951, Globotruncana iz okoline Bora u Istočnoj Srbiji. Geološki anali Balk. poluostrva, knjiga XIX. Beograd.

Kochansky-Devidé, V. 1958, Izveštaj o determinaciji mikrofosila iz bazena Bor. Poročilo v rokopisu. Zagreb.

Lazarević, M. 1912, Die Enargit-Covellin Lagerstätte von Čoka Dulkan bei Bor in Ostserbien. Zeitschrift für prakt. Geologie, XX.

Lacroix, 1908, La montagne Pelée après ses éruptiones. Paris.

Lovering, T. S. 1955, Temperatures in and near intrusions. Economic Geology. Fiftieth Anniversary Volume.

Marić, L. 1957, Magmatiti u užem području rudnika Bor u istočnoj Srbiji. Posebna izdanja SAN. Beograd.

Mercalli, 1907, Vulcani attivi della terra. Milano.

Niggli, P. 1936, Die Magmentypen. Schweiz. Min. und Petr. Mitteilungen, XVI.

Nikitin, V. V. 1936, die Fedorow-Methode. Berlin.

Nikolić, P., Andjelković M. 1967, Gornje kredni vulkanizam Središnjeg pojasa Karpato-Balkanida Istočne Srbije. Zbornik radova rudarsko-metalurškog fakulteta i instituta za bakar u Boru. Bor.

Nikolić, P. 1968, »Borski konglomerati« — njihov stratigrafski položaj i značaj za proučavanje geologije okoline Bora. Zbornik radova rudarsko-metalurškog fakulteta i instituta za bakar u Boru. Bor.

Petković, K. V. 1930, Geološka promatranja u bakronosnom terenu atara opštine Slatinske nedaleko od borskog rudnika. Rudarski i topionički vesnik, god. II. Beograd.

Petković, K. V. 1933, Majdanpek i okolina. Geološki sastav i tektonski odnosi. Rasprave geol. inst. kraljevine Jugoslavije, III. Beograd.

Petković, K. V., Pejović, D. in Pašić, M. 1958, Ugljeni rudnik Rtanj. Monografska studija geološkog sastava i tektonskih odnosa. Posebno izdanje SAN. Beograd.

Petković, V. K. 1913, Golt u Srbiji. Glas SAN, knj. LXXXIX. Beograd.

Petković, V. K. 1930, O tektonskom sklopu Istočne Srbije. Glas SAN, knj. XLVI. Beograd.

Petković, V. K. 1933, Geološka karta lista »Donji Milanovac« 1:100 000. Beograd.
Petković, V. K. 1935, Geologija Istočne Srbije. Posebno izdanje SAN. Beograd.
Petraschek, E. 1942, Gebirgsbildung, Vulkanismus und Metallogenese in den Balkaniden und Südkarpathen. Fortschritte der Geol. und. Paleont. Bd. XIV, H 47.
Radovanović, S. 1888, Gradja za geologiju i paleontologiju Istočne Srbije. Uvod za geologiju Istočne Srbije. Lijas kod Rgotine. Glas SAN VIII. Beograd.
Rosenbusch, H. 1910, Elemente der Gesteinslehre. Stuttgart.
Shand, J. 1943, Eruptive rocks. London.
Simić, V. 1953, Magmatizam i metalogenija naših granitoidnih stena u vezi sa volframovim orudnjenjem. Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraživanja NRS, knjiga X. Beograd.
Scheumann und Schüllller, A. 1938, Zur Kenntnis der oberkretazischen Vulkanismus in östlichen Bulgarien. Min. und. Petrograf. Mitteilungen, Abt. B, Bd. 50. H. 1.
Tajder, M. 1940, Kožuf — petrografija i petrogeneza vulkanskih stijena Kožufa. Vesnik geol. inst. kraljevine Jugoslavije. Knj. VIII. Beograd.
Tomić, J. 1931, Mineraloške i hemijske osobine lavičnih stena jednog dela Crnorečkog bazena. Geol. anali Balk. poluostrva. knj. 10. Beograd.
Tröger, E. 1935, Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine, 1935. Verlag d. Deutsch. geol. Ges., Berlin.
Tröger, E. 1952, Tabellen zur optischen Bestimmungen der gesteinsbildenden Minerale, Stuttgart.
Tučan, F. 1927, 28. Andezitske erupcije u hercegovačkom kršu. Vijesti geol. zavoda u Zagrebu.
Tyrell, G. W. 1929, The principles of Petrology. London.
Urošević, S. 1908, Kristalasti škriljci i graniti u Severoistočnoj Srbiji. Spomenik srp. kralj. Akademije, XLVI. Beograd.
Winchell, A. N. 1951, Elements of Optical Minerology, New York.
Zavaricky, A. N. 1956. Izverženije gornije porodi. Moskva.
Živković. M. 1891, Geologija crnorečkog okruga. Glasnik srp. uč. društva, knj. 73. Beograd.
Žujović, J. 1892; 1900, Geologija Srbije I i II deo. Beograd.

GEOLOŠKA KARTA OKOLICE RUDIŠČA BOR

GEOLOGICAL MAP OF THE BOR COPPER ORE DEPOSIT AND SURROUNDINGS

500m 0 1 2Km

- Plagiogranit / Plagiogranite
- d — Diorit / Diorite
- d'aq — Kremenov dioritni porfir / Quartz diorite porphyry
- Timocit / Timocite
- Rogovačno biotitni andezit / Hornblende-biotite andesite
- Rogovačni andezit (Ra) / Hornblende andezite (Ra)
- Piroksenov (Pa), piroksenovo rogovačni (PRa), rogovačno piroksenov (RPa) in piroksenovo biotitni (PBa) andezit / Pyroxene (Pa), pyroxene-hornblende (PRa), hornblende-pyroxene (RPa) and pyroxene-biotite (PBa) andesites
- aq — Rogovačno biotitni dacit / Hornblende-biotite dacite
- ā — Albitski trahit / Albite trachyte
- Paleozojski skrilavci / Paleozoic slates
- Liadni konglomerat in peščenjak / Liasic conglomerate and sandstone
- Zgornjejurski apnenec / Upper Jurassic limestone
- Spodnjekredni apnenec (metamorfoziran) / Lower Cretaceous limestone (metamorphised)
- Albijski peščenjak in konglomerat / Albian sandstone and conglomerate
- Senonski peščenjak / Senonian sandstone
- Senonski apneni pelit (metamorfoziran) / Senonian calcareous pelite (metamorphised)
- Timocitovi piroklastiti / Timocite pyroclasts
- Piroklastiti rogovačno biotitnega andezita / Pyroclasts of hornblende-biotite andesite
- Piroklastiti rogovačnega andezita / Pyroclasts of hornblende andesite
- Piroklastiti mandeljnastega piroksenovega andezita / Pyroclasts of amygdaloidal pyroxene andesite
- Piroklastiti piroksenovega, piroksenovo rogovačnega, rogovačno piroksenovega, rogovačnega in mandeljnastega piroksenovega andezita / Pyroclasts of pyroxene, pyroxene-hornblende, hornblende-pyroxene, hornblende and amygdaloidal pyroxene andesites
- Borski konglomerat / Bor conglomerate
- Borski pelit s tufom in tufitom / Bor pelite with tuff and tuffite
- Piroklastiti rogovačno biotitnega dacita / Pyroclasts of hornblende-biotite dacite
- Piroklastiti regovačnega dacita / Pyroclasts of hornblende dacite
- Hidrotermalno spremenjeni andezit in piroklastiti / Hydrothermally altered andesites and pyroclasts
- Rudno telo / Ore body
- Neogen / Neogene
- Melišče / Scree
- Lehnjak — Aluvij / Travertine — Alluvium
- Odval / Dump
- Rudišče bakra / Copper ore deposit
- Pojavi bakrove rude / Copper ore occurrences
- Geološka meja / Geologic boundary
- Predpostavljena geološka meja / Supposed geologic boundary
- Eroziiska diskordanca / Erosional unconformity
- Prelom / Fault
- Predpostavljeni prelom / Supposed fault
- Reverzni prelom / Reversed fault
- Smer in vpad plasti / Strike and dip of strata
- Nahajališče fosilov / Fossil fauna occurrences

KARTIRAL M. DROVENIK V LETIH 1956 DO 1959

Risala: M. KARER