SAVEZNA KOMISIJA ZA NUKLEARNU ENERGIJU
ZAVOD ZA NUKLEARNE SIROVINE

RADOVI

SEKTORA ZA ISTRAŽIVANJE NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA

SVESKA 2 / NOVEMBAR 1963 / BEOGRAD

SAVEZNA KOMISIJA ZA NUKLEARNU ENERGIJU
ZAVOD ZA NUKLEARNE SIROVINE
Sektor za istraživanje nuklearnih i drugih mineralnih sirovina

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

Ing. RADOSLAV PANTIĆ

Načelnik Sektora za istraživanje nuklearnih sirovina

REDAKCIONI ODBOR

ANTONOVIĆ ing. ANTONIJE, DIVLJAN STEVAN, GOJKOVIĆ SLAVIŠA, NEDIMOVIĆ ing. RADENKO, PROTIĆ dr MIRKO, RADOVIĆ ing. MILORAD, SIMIĆ ing. VLADAN

REDAKCIJA I ADMINISTRACIJA

Beograd — Rovinjska 12
Telefon: 44-871

ČASOPIS IZLAZI POVREMENO

SADRŽAJ

CONTENTS

TABLE DES MATIERES

INHALT

Strana / Page / Seite

Milan RISTIĆ
GENETSKO-STRUKTURNI TIPOVI RADIOAKTIVNIH MINERALIZACIJA STARE PLANINE — 3
GENETIC AND STRUCTURAL TYPES OF RADIOACTIVE MINERALIZATION AT STARA PLANINA — 3

Gavrilo DELEON i Zvonko ČERVENJAK
APSOLUTNA GEOLOŠKA STAROST URANSKE MINERALIZACIJE NA STAROJ PLANINI — 19
THE ABSOLUTE AGE DETERMINATION OF URANIUM MINERALIZATION AT STARA PLANINA — 19

Stanislav VIŠIĆ
ISRAŽIVANJE TORIJUMO-URANONOSNIH ŽIČNIH STENA U PODRUČJU SELEČKE PLANINE PRIMENOM MAGNETSKE METODE — 25
APPLICATION OF MAGNETIC METHOD IN EXPLORATION OF THORIUM-URANIUM BEARING VIEN ROCKS IN SELEČKA MOUNTAIN AREA — 25

Vladan SIMIĆ
PRILOG INTERPRETACIJI REZULTATA AERORADIOMETRIJSKIH ISPITIVANJA — 37
A CONTRIBUTION TO AIRBORN RADIOMETRIC MEASUREMENTS INTERPRETATION — 37

Dušan RADUSINOVIC
OTKRIĆE URANINITA NA PLANINI BUKULJI — 43
OCCURENCES OF URANINITE IN THE AREA OF BUKULJA MOUNTAIN — 43

Dušan RADUSINOVIĆ
Ni-Co-U MINERALIZACIJA U Pb-Zn-Sb RUDNIKU VELIKI MAJDAN (ZAPADNA SRBIJA) — 53
MINERALIZATION OF Ni, Co AND U IN THE Pb, Zn AND Sb MINE VELIKI MAJDAN IN SOUTHWESTERN SERBIA — 53

Momčilo VUKASOVIĆ
SEKUNDARNI MINERALI URANA IZ OBLASTI ŽIROVSKOG VRHA KOD MESTA GORENJA VAS U SLOVENIJI — 63
SECONDARY MINERALS OF URANIUM, FROM THE AREA ŽIROVSKI VRH, PLACE GORENJA VAS, SLOVENIA (YOUGOSLAVIA) — 61

Momčilo VUKASOVIĆ i Nada MIHAJLOVIĆ-VLAJIĆ
BRANERIT IZ TOPOLČANA KOD PRILEPA — 67
BRANNERITE FROM TOPOLCHANE NEAR PRILEP (YOUGOSLAVIA) 67

Dragoslav R. NIKOLIĆ
KOLUMBIT IZ PEGMATITA KUKAVICE (JUŽNA SRBIJA) — 69
COLUMBITE FROM KUKAVICA MOUNTAIN (SOUTH SERBIA) — 69

Nadežda MIHAJLOVIĆ-VLAJIĆ
O ISPITIVANJU AKCESORNIH MINERALA — 73
ON THE INVESTIGATIONS OF ACCESSORY MINERALS — 73

Staniša RADOŠEVIĆ
PETROLOGIJA UGLJA ŠIRITOVCA KOD DRNIŠA (DALMACIJA) — 79
THE PETROLOGY OF COAL FROM ŠIRITOVCI MINE NEAR DRNIŠ (CROATIA) — 79

SVESKA 2 / **NOVEMBAR 1963** / **BEOGRAD**

ŠTAMPA: BEOGRADSKI GRAFIČKI ZAVOD

OPREMA: JUGOSLAV BOGDANOVIĆ

MILAN RISTIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

GENETSKO-STRUKTURNI TIPOVI RADIOAKTIVNIH MINERALIZACIJA STARE PLANINE

Područje Stare planine je u geološkom pogledu najbolje proučena oblast Jugoslavije. U ovom radu je pored kratkog prikaza geologije i tektonike Stare planine opisan izvestan broj radioaktivnih i drugih mineralizacija i dato tumačenje njihovog postanka. Pored toga pokušano je da se utvrde zakonitosti njihovog pojavljivanja.

UVOD

Proučavano područje Stare planine nalazi se na desnoj obali reke Timoka i proteže se duž istočne granice SR Srbije, obuhvatajući površinu od oko 860 km² (karta 1). Njenu severnu granicu predstavlja Grljanski Venac, zapadnu tokovi Velikog i Trgoviškog Timoka kao i drum Knjaževac — Pirot, južnu bilo Vidličke planine a istočnu bilo Stare planine, koje čini jugoslovensko-bugarsku granicu.

Bilo Stare planine u severnom delu ima prosečnu visinu oko 1.200 m i postepeno se uzdiže ka jugu dostižući u središnom delu visinu od oko 2.169 m (vrh Midžor), odakle se najpre spušta, pa onda penje, dok se ne završi sa kotom na visini oko 2.018 m.

Sa ovog bila teku mnogobrojne reke i potoci uglavnom pravcem istok — zapad. Vodeni tokovi su duboko usekli svoja korita stvarajući klance i gudure odvojene grebenima, koji se postepeno spuštaju od bila Stare planine do desne obale Timoka, gde se obično završavaju strmim odsecima. Jaka razuđenost terena kao i bujični karakter vodenih tokova umnogome doprinose intenzivnoj eroziji.

Prve podatke *o geologiji ove oblasti* nalazimo kod F. Tule. Posle njega je J. M. Žujović objavio svoja promatranja u »Osnovi za geologiju Kr. Srbije« i »Geologiji Srbije«. Izvesne podatke nalazimo i kod J. Cvijića. Mnogo detaljnije je obradio geologiju ove oblasti M. Protić u svojoj disertaciji »Geološki sastav i tektonika Stare planine«. Izvesne podatke nalazimo i u radovima V. K. Petkovića i R. Živkovića, kao i u radovima bugarskih geologa S. Bončeva i Str. Dimitrova, ali najdetaljnije podatke o petrografiji ove oblasti nalazimo kod J. Tomića u njegovom radu »Graniti i gnajsevi Stare planine«.

Posle rata počev od 1950. godine u više navrata izvršeno je geološko kartiranje pojedinih delova ili cele ove oblasti u razmeri 1:50.000, 1:25.000, 1:10.000 i 1:2.500. a izrađena je i geološko-strukturna karta granitske gromade Janje.

Radiometrijska prospekcija je takođe vršena u više navrata počev od 1949. godine. Pored šlihovanja, regionalne pešačke, geohemijske i prospekcije iz vazduha, vršena su detaljna radiometrijska i geofizička ispitivanja.

Istražni rudarski radovi vršeni su takođe u više navrata. Prvi manji radovi izvođeni su pre i za vreme rata na pojavama ruda bakra, zlata, molibdena i bizmuta, pa je kratko vreme vršena i eksploatacija zlata iz nanosa Timoka kod sela Kalne. Tako je istraživano zlato u Inovskoj reci, zlato, bakar i molibden kod sela Aldinci, a bakar i bizmut kod sela Gradišta, ali su radovi ubrzo napušteni zbog malih količina ruda.

Posle rata izvođeni su istražni rudarski radovi samo na radioaktivnim pojavama počev od 1949. godine i još se i danas izvode. Obimniji rudarski radovi sa dubokim bušenjem izvođeni su ili se još izvode u lokalnostima: Aldina reka, Mezdreja i Gabrovnica, dok su manjim rudarskim radovima i plitkim bušenjima istraživane mnoge mineralizacije Stare planine.

I GEOLOGIJA

Šira oblast Stare planine bila je predmet obimnih geološko-petrografskih ispitivanja s obzirom na samu kompleksnost njene geološke istorije. Ipak detaljnija geološko-tektonska i mineraloško-petrografska ispitivanja vršena su u onim područjima u kojima su otkrivene uranske mineralizacije. Ova detaljna ispitivanja područja dala su mnogo korisnih podataka za tumačenje petrogeneze granitskih stena, geneze radioaktivnih pojava i drugih geološko-tektonskih problema.

A. Petrografski sastav

U petrografskom sastavu Stare planine učestvuje veliki broj različitih vrsta i tipova stena, različite starosti počev od prekambrijskih stena do najmlađih neogenih tvorevina (karta 1). U

ovom odeljku razne vrste stena biće prikazane redom koji će odražavati njihovu geološku starost (S. Divljan).

Staropaleozojske formacije — Strukturnu i morfološku osnovu Stare planine čini kompleks kristalastih škriljaca sastavljen od 4 litološki različita i prostorno razdvojena kompleksa, koji su članovi jednog superpozicionog niza. To su:

a) Gnajsevi, muskovitsko-biotitski i amfibolski gnajsevi nalaze se između zaglavačkog masiva gabra i sinklinale Miničevo — Kadibogaz. Amfibolski gnajsevi, međutim, čine prelaznu formaciju između mlađih škriljaca crnovrške serije i starijih muskovitskih gnajseva.

b) Škriljci, granit-gnajsevi i graniti antiklinale Vrške Čuke čine prelaznu zonu između gnajseva i dijabaz-filitoidne formacije. Pored amfibolskih gnajseva i stena iz dijabaz-filitoidne serije ovaj kompleks karakterišu amfibolsko-biotitski i biotitski graniti sa paralelnom teksturom i postupnim prelazom u gnajseve.

Granitski masiv Vrške Čuke izgrađen je pretežno od amfibolskog granita na čijem se istočnom obodu javljaju male pojave grano-diorita i kvarc-diorita. U zapadnom delu masiva nalazi se zona aplitoidnih granita, koja prema zapadu prelazi u krupnozrni crveni granit. To je mlađa intruzivna faza, koja je izvršila kontaktno-metasomatske promene starijih amfibolsko-biotitskih granita. Još mlađu fazu ovog magmatskog ciklusa predstavljaju žični proboji mikrogranitskih i riolitskih stena, koje presecaju sve ostale vrste granitoida. Gornji pokrovni i obodni varijeteti amfibolsko-biotitskih i grano-dioritskih stena predstavljeni su, međutim, krpama mikrograno-diorita i delom mikrodiorita.

Sve opisane granitoidne stene su intenzivno uškriljene, mestimično kataklazirane, sa pojavama delimične rekristalizacije (tektono-blasteze) i metasomatske albitizacije.

Manja intruzivna masa mikrograno-diorita Aldinca na Staroj planini odgovarala bi granitoidima Vrške Čuke i predstavljala bi njihovu hipoabisalnu faciju.

c) Crnovrška serija ili dijabaz-filitoidna formacija izgrađena je od hlorito-filita, argilošista. kvarcita, amfibolita, mermera, gnajseva i metamorfnih dijabaza. Ovaj kompleks ima debljinu reda 10 km, verovatno je siluro-devonske starosti i predstavlja glavni deo metamorfisanog jezgra Stare planine.

d) Inovska serija nesumnjivo je mlađa od formacije gnajseva i donjih delova dijabaz-filitoidne serije čije elemente sadrži u konglomeratima. Preko metamorfisanih članova ove serije, predstavljene hlorito-filitima, amfibolitima, argilošistima sa grafitom, grauvakama i škriljavim konglomeratima leže diskordantno nemetamorfisani sedimenti gornjeg karbona.

e) Gabrovi i amfiboliti — U centralnom i SZ delu Stare planine znatno prostranstvo zauzima Zaglavački masiv. To je jedinstveno intruzivno telo sastavljeno pretežno od normalnog piroksensko-olivinskog gabra, mada ima i drugih varijeteta.

Pored toga, gabroidne stene čine pojas koji prati sa manjim prekidima obod granitske gromade Janje, ili se nalaze u samim granitima u vidu manjih ili većih masa, ili najzad u vidu manjih masa u crnovrškoj seriji. Svi oni ispoljavaju jasne tragove mehaničkih deformacija, uralitizacije, sosiritizacije i albitizacije.

f) Granitska gromada Janje — Gromada se pruža pravcem SZ—JI, duga je oko 19 km i široka oko 2,5 km. Izgrađena je od manje ili više alterisanog biotit granita vrlo često sa feldspatima crvene boje. To je prema S. Divljanu pretežno kalkoalkalni granit akeritskog tipa, odnosno natronrapakivi tip trondhjemitske grupe magmi kalcijsko-alkalnog niza.

Granit je pretrpeo kontaminaciju MgO i CaO, ali su izrazitije pojave alkalizacije okolnih amfibolitskih stena. U obodnom pojasu otkriveni su amfibolski graniti koji najverovatnije predstavljaju produkte intenzivne feldspatizacije i delimične rekristalizacije amfibolitskih stena i gabrova obodnog pojasa.

Graniti Janje pretrpeli su jače ili slabije izražene mehaničke i hidrotermalne promene. One se manifestuju kataklaziranjem sastojaka, pretvaranjem biotita u hlorit, sericitizacijom i delom karbonitizacijom i silifikacijom. Mehaničke deformacije idu do potpune milonitizacije. Takve zone su i najviše hidrotermalno promenjene i pretežno izgrađene od sericita i malo kaolinita koji cementuju milonitisane sastojke granita, što ukazuje na cirkulaciju hidrotermalnih alkalnih rastvora i na to da intenzitet alteracije primarnih sastojaka stoji u neposrednoj vezi sa stepenom zdrobljenosti granita.

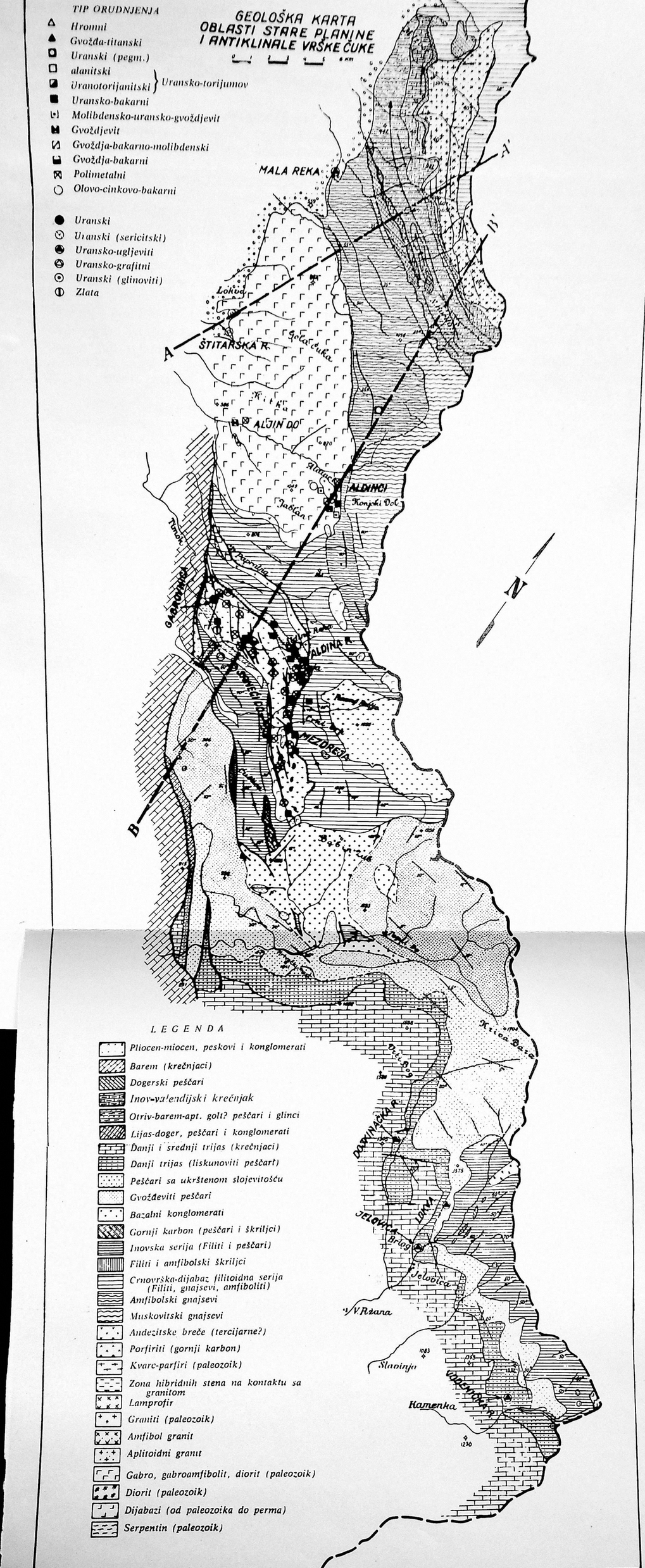
Granitski masiv Ravnog Bučja — Krupnozrni pretežno biotitski graniti monconitskog tipa ovog masiva okruženi su kontaktno-metamorfnom oreolom sastavljenom od kornita i amfibolita. Endomorfne promene granita predstavljaju manje pojave grano-diorita i kvarc-diorita.

Graniti Karibanje — U permskim peščarima na krajnjem jugoistočnom delu Stare planine otkrivena su dva mala izdanka granita sličnog sastava kao graniti Ravnog Bučja.

g) Apliti i pegmatiti — Apliti se javljaju u obodnoj zoni granita Janje i Ravnog Bučja u obliku tankih žica. Pegmatitske žice su izvanredno retke.

h) Gornji karbon — Limnički glinci, peščari i konglomerati sa ugljem vestfalske starosti, sa interstratifikovanim porfiritima i njihovim tufovima, leže diskordantno preko škriljaca inovske serije.

i) Perm i trijas — U jugoistočnom delu Stare planine nalazi se velika masa peščara pretežno crvene boje. Permu pripadaju gvožđeviti peščari



Karta 1 — Geološka karta Stare planine (Prema: M. Ristiću, B. Sikošeku, S. Divljanu, S. Pavloviću, M. Protiću, A. Antonoviću sa saradnicima)

Map 1 — Geologic map Stara Planina (according to M. Ristić, B. Sikošek, S. Divljan, S. Pavlović, M. Protić, A. Antonović and coworkers)

i alevroliti koji postupno prelaze u delimično konglomeratične peščare sa ukrštenom slojevitošću. Oni postupno prelaze u donjotrijaske peščare sa florom germanskog šarenog peščara. U seriji gvožđevitih peščara zapaženi su jako alterisani dijabazi.

j) Jura i kreda — Jurska transgresija počela je u lijasu i nastavila se u dogeru. Lijas je razvijen u estuarskoj faciji sa ugljem, srednja jura u peščarskoj, a gornja jura na severu u krečnjačkoj a na jugu u faciji konglomerata, peščara i škriljaca i postepeno prelazi u donjokredne peskovite krečnjake i laporce, a ovi na severu u sprudne krečnjake gornje krede. Na jugu je, međutim, nastupila regresija.

k) Tercijarni sedimenti — Peskovi, gline, konglomerati, laporci sa ugljem neogene starosti javljaju se na malom prostoru duž zapadnog oboda SZ dela Stare planine.

l) Paleorioliti — Duž južnog oboda Zaglavačkog masiva gabra javljaju se ove stene u škriljcima crnovrške serije, a dva dajka na kontaktu jurskih i permskih peščara.

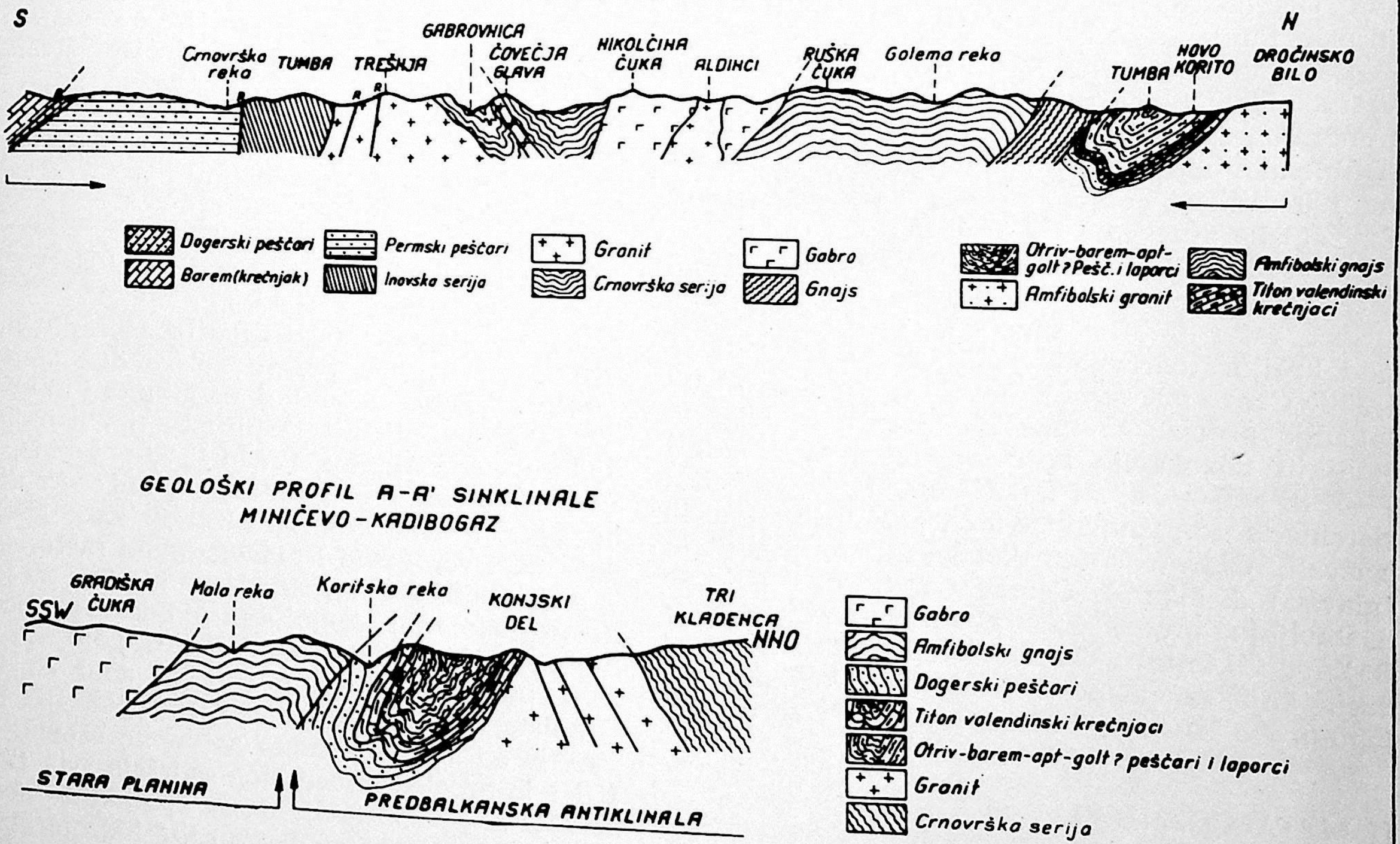
B. Tektonika

U istraživanoj oblasti prema B. Sikošeku nalaze se tri geotektonske jedinice. Svaka od njih odlikuje se sopstvenim, specifičnim razvojem. Te su jedinice: 1) Antiklinala Vrške Čuke (Predbalkanska antiklinala) sa sinklinalom Miničevo-Kadibogaz; 2) Antiklinorijum Stare planine i 3) Knjaževačka sinklinala — njeno SZ krilo.

Ove su jedinice stvorene u nekoliko različitih faza kako variscijske tako i alpske orogeneze. Biće opisan samo antiklinorijum Stare planine, jer se ležišta urana nalaze samo u njemu.

Osnova ove najveće strukture naglašena je vrlo rano, verovatno u sudetskoj fazi hercinske orogeneze, kada pada i sinorogeni granitski plutonizam. Hercinski inicijalni magmatizam počinje za vreme taloženja crnovrške serije, pa se nastavlja preko Zaglavačkog masiva gabra u kiseli sinorogeni granitski plutonizam (sl. 1).

Kristalasti škriljci su intenzivno ubrani u jako stisnute, gotovo izokline bore čije se ose pružaju uglavnom pravcem SZ — JI. Granitski masiv



Sl. 1 — Geološki profili Stare planine i sinklinale Miničevo — Kadibogaz (prema B. Sikošeku)

Fig. 1 — Geologic profile of Stara Planina and the sincline Miničevo — Kadibogaz (according to B. Sikošek)

Ravnog Bučja i Zaglavački masiv gabra utisnuti su bez saglasnosti sa postojećim strukturama. Granitska gromada Janje, kao konkordantni masiv između inovske i crnovrške serije gotovo je potpuno kontrolisan njihovom strukturnom građom.

Stene crnovrške serije obrazuju u zoni kontakta jednu sinklinalu, duž koje je izražena jedna duboka dislokacija, čije je južno krilo spušteno te je došlo naknadno do manjih ili većih proboja gabra.

U alpskoj orogenezi antiklinorijum Stare planine je najpre fleksurno povijen a zatim kraljušasto navučen na antiklinalu Vrške Čuke, odnosno južno krilo sinklinale Miničevo — Kadibogaz. U jednoj docnijoj fazi je SZ krilo knjaževačke sinklinale navučeno preko južnog krila antiklinorijuma Stare planine.

JZ krilo Stare planine je mnogo mirnije. I tu preko hercinskog metamorfisanog jezgra leži nemetamorfisani pokrivač predstavljen permskim i permo-trijaskim peščarima, trijaskim i jurskim sedimentima.

Janjska granitska gromada pretrpela je jake pritiske koji su se manifestovali u kataklaziranju skoro čitave eruptivne mase, u kojoj se uočavaju sistemi dislokacija koji je presecaju i obodne dislokacione zone u kojoj je došlo do diferencijalnog kretanja metamorfnog omotača u odnosu na granite. Ove dislokacije i tektonske zone imaju alpske pravce i interesantne su i sa stanovišta metalogenije, jer su predstavljale puteve duž kojih se vršila cirkulacija fluida iz kojih se deponovala mineralna supstanca. Starost ovih orudnjenja pehblende određena je metodom izotopa olova na 190 miliona godina, što odgovara kimerijskoj fazi alpske orogeneze (G. Deleon).

Severna i južna obodna zona Janjske gromade približavaju se prema SI jedna drugoj kao i centralna, tako da čine snop dislokacija koje tonu pod kraljušt baremskih krečnjaka Vidljičke kraljušti. Centralna zona u kojoj su grupisane dislokacije proteže se kroz ceo masiv i u njoj se javljaju dislokacije koje su orijentisane skoro J—Z ili SI — JZ, ali ta orijentacija je posledica sistema, a ne raznovremenosti pokreta koji su ih izazvali. Glavnu zonu dislokacija predstavljaju (glavne) dislokacije Cerača i Debeštice, koje se nastavljaju prema ZSZ preko Inovske reke u Bajin do. Linije u Gabrovnici pripadaju sistemu linija koje se nastavljaju od Gradiškog dola na jugu preko Muslinog perčina u pravcu Gabrovnice.

II METALOGENIJA

Rudne pojave Stare planine su mnogobrojne ali ne pokazuju naročito bogatstvo i raznovrsnost metalnog mineralnog sadržaja ni po broju mineralnih vrsta, niti po njihovoj kvantitativnoj zastupljenosti u pojedinim orudnjenim lokalnostima. Javljaju se ili nepravilno rasute po stenama za koje su genetski vezane ili pak po njihovom obodu zalazeći mestimično na kontaktima i u susedne stene, ili, najzad, u jasno izraženim tektonskim zonama i rasedima.

Genetski bi veliki deo ovih pojava pripadao segregacionom, a ređe pneumatolitskom i hidrotermalnom tipu ležišta. Teškoće oko genetske klasifikacije ovih pojava su uglavnom u tome što je najveći broj nedovoljno otkriven, a površinski primerci delom izmenjeni imaju prost paragenetski odnos i nemaju tipomorfne mineralne vrste da bi se sa sigurnošću moglo utvrditi njihovo genetsko mesto.

Sve ove rudne pojave možemo podeliti prema tome da li sadrže ili ne radioaktivne minerale na: radioaktivne i neradioaktivne mineralizacije. Ove poslednje su mnogo značajnije jer su neke od ekonomske vrednosti.

A. Neradioaktivne mineralizacije

Najveći broj ovih mineralizacija je sagregacionog tipa i vezan je uglavnom za gabrove i serpentine. Naročito su mnogobrojne, ali malih razmera, ovakve pojave u Zaglavačkom masivu gabra i uglavnom se sastoje od magnetita, hematita i ilmenita, a u serpentinima od hromita. Više ovakvih mineralizacija zapaženo je u istočnom delu masiva gabra, Čani i Srnećem dolu u Mezdreji, ali su sve neznatnih razmera. Sve ove mineralizacije pripadaju ranoj hercinskoj etapi stvaranja.

Sve ostale neradioaktivne rudne pojave su predstavljene tanjim ili debljim žicama obično neznatnog prostiranja. Možemo razlikovati pet tipova po mineralnom sadržaju i to:

a) piritski tip,
b) piritsko-halkopiritski,
c) piritsko-halkopiritsko-molibdenitski,
d) galenitsko-sfaleritski,
e) piritsko-galenitsko-sfaleritsko-bizmutski.

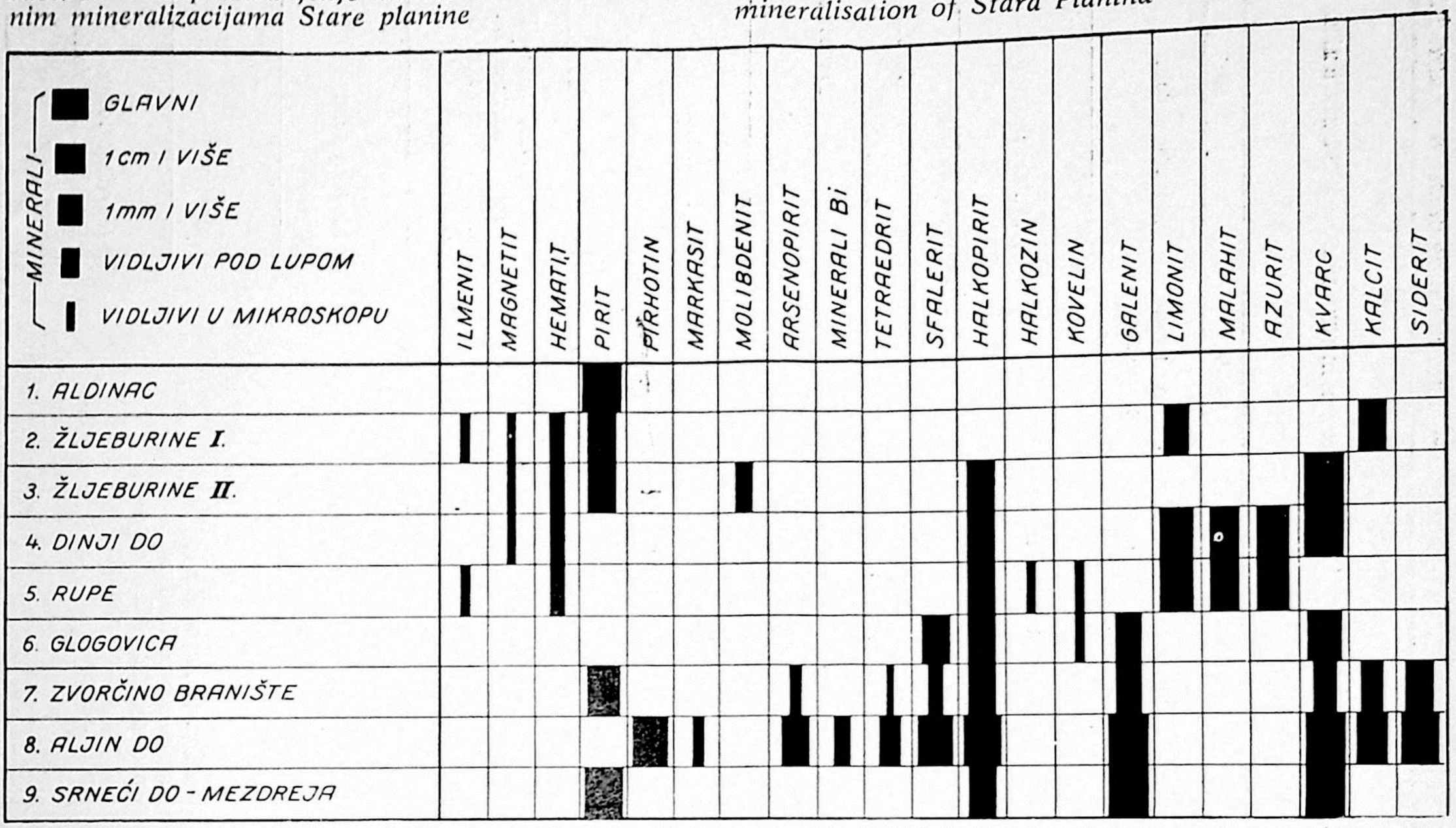
Sve se ove rudne pojave nalaze duž kontakta gabra i dijabaza sa probojima granita i mikrogranita. Najzastupljeniji je piritski tip, naročito u području sela Aldinca. Vezan je za pukotine, koje su nastale prilikom granitskih i mikrogranitskih intruzija, a kroz koje su prolazili kako gasovi i pare tako verovatno i hidrotermalni rastvori.

Od ostalih tipova zastupljena je samo po jedna pojava, takođe u okolini sela Aldinca, sem poslednje najveće i najznačajnije pojave, koja se nalazi u samom masivu gabra u Aljin dolu kod sela Gradišta, a bila je predmet nešto obimnijih istraživanja od strane Nemaca za vreme rata. U tabl. 1 dat je pregled mineralnog sadržaja svih tipova, za koje se pretpostavlja da su kontaktno-pneumatolitskog ili visokotemperaturnog hidrotermalnog načina postanka, a pripadaju rudnim formacijama srednje hercinske etape stvaranja.

Najzad treba spomenuti i mnogobrojne pojave piritizacije u svim vrstama stena, a naročito u granitima.

Tabl. 1 — Rasprostranjenje minerala u neradioaktivnim mineralizacijama Stare planine

Table 1 — The mineral distribution in nonradioactive mineralisation of Stara Planina



B. Radioaktivne mineralizacije i ležišta

Sve radioaktivne mineralizacije Stare planine možemo, prema njihovom načinu postanka, svrstati uglavnom u sedam tipova mineralizacija i orudnjenja (tabl. 2) i to:

1. magmatski,
2. pegmatitski,
3. pirometazomatsko-hipotermalni,
4. hidrotermalni,
5. uranski — crni marinski škriljci,
6. uranski ugalj,
7. infiltracioni.

Sem hidrotermalnih, svi drugi tipovi mineralizacija nemaju ekonomski značaj, bilo zbog neznatnog rasprostranjenja ili zbog vrlo niskih koncentracija urana. Stoga će svi ostali biti iznet samo u najkraćim crtama kako bi se ilustrovala raznolikost tipova.

1. Pegmatiti — Karakteristična je pojava za celu Staru planinu odsustvo pegmatita, sem u zaklopljenoj partiji crnovrške serije u granitskoj gromadi Janje. Oni pripadaju srednjoj hercinskoj etapi stvaranja. Zapaženo je samo jedno uranonosno pegmatitsko sočivce kod sela Radičevci u potoku ispod kote Glog pravca SZ—JI, moćnosti 30 cm, vidljivo na dužini od nekoliko metara. Pegmatit je izgrađen od kvarca, mikropertita, mikroklina i muskovita. Jedna pukotina ispunjena je polomljenim zrnima uraninita koja su cementovana halkopiritom. Postali su u srednjoj hercinskoj etapi stvaranja.

2. Pirometasomatske i hipotermalne pojave — U oblasti Stare planine otkriveno je 4 tipa pirometasomatskih mineralizacija uglavnom neznatnih razmera koje pripadaju srednjoj hercinskoj etapi stvaranja. Razlikujemo urano-torijanitski, alanitski, uraninitsko-halkopiritski i molibdenitski tip. Od njih je najznačajniji urano-torijanitski u Aldinoj reci. Svi ovi tipovi postali su u srednjoj hercinskoj etapi stvaranja.

a) Urano-torijanitske mineralizacije u Aldinoj reci — Uranske mineralizacije se javljaju na kontaktu serpentina i granita. Na normalnim kontaktima serpentin je isprobijan žicama granita. On je retko čvrst i kompaktan, obično je škriljav, zdrobljen, sapunjav i ispucao i u blizini kontakta sa granitom pun talka, hlorita i ređe biotita, uz stvaranje krupnozrnih feldspatsko-amfibolskih stena.

Graniti dalje od kontakta imaju gnajsolik ili porfiroidan izgled i sastoje se od ortoklasa, kiselog plagioklasa, ređe mikroklina, a od bojenih sastojaka je češći biotit nego amfibol. Sporedni sastojci su apatit, cirkon i sekundarni hlorit.

Osnovna tektonska struktura je kraljušasto iskidana sinklinala, odnosno u granitima je uklješten iskraljuštani deo amfibolske serije, čija se osa uzdiže, tako da su otkriveni njeni najdublji delovi.

U okviru istražnih rudarskih radova otkrivene su tri mineralisane zone pravca SZ — JI, koje na SI obodu ograničava serpentin, a u JZ kontakt sa grantiom. Zone sastavljaju tankoslojevite čvršće ili trošnije stene koje katkad podsećaju na slabo vezani grus sa umetcima i proslojcima serpentima često obogaćenog hloritom, biotitom i apatitom. Čvršće partije sastavljene su od granita

Tabl. 2 — Pregled metalogenije Stare planine

Table 2 — The metalogenesis of Stara Planina

Etapa stvaranja	Grupa	Podgrupa	Tip	Strukturni tip	Rudna formacija	Mineralni sastav	Oblik zaleganja ležišta i okolna stena	Veza sa intruzijama	Naziv ležišta
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
završna alpska	ekzogena	površ. raspad	infiltracioni	gnezdasto-sočivast	uranska	kaolinit, sericit, kvarc, feldspat, odlomci granita	sočiva zelenih glina na kontaktu breča i neogenih konglomerata	izvor urana nepoznat	Štitarska reka
		biogena	uran. uglj.		uransko-ugljevita	uranski ugalj, halkopirit, markasit	mugle uglja u neogenim konglomeratima		Mala reka
srednjealpska	endogena	hidrotermalna	mezotermalni	pukotinski	uranska	pehblenda, praškasta pehblenda, magnetit, hematit, pirhotin, pirit, markasit, melnikovit, arsenopirit, min rali Ni, Co, Bi, tetraedrit, galenit, sfalerit, halkopirit, kvarc, kalcedon, dolomit, stroncijanit, hlorit, sericit, kaolinit	pukotinska punjenja u granitu i grafitskom škriljcu	neposredna veza sa magmatskim ognjištem oživljenim u alpskoj orogenezi	Cerače Mezdreja Debeštica
						impregnacije praškaste pehblende u piritu, feldspatima, hloritu, biotitu, baritu, i sericistko-kaolinitskoj masi, tragovi sulfida, i ganga kao u Mezdreji	pukotinska punjenja u granitu, filonitu		Gabrovnica
						praškasta pehblenda, hematit, pirit, galenit, sfalerit, halkopirit, sericit, kalcit, stroncijanit, kaolinit, hlorit	pukotinska punjenja u granitu Janje		Oraški do, Debeštička reka, Mala reka, Bajin do, Janjska reka, Gradeški do
						galenit, sfalerit, praškasta pehblenda, hematit pirit, kvarc, kalcit, sericit, kaolinit	pukotinsko punjenje u granitu Janje		Inovska reka
počina alpska	ekzogena	biogena	ur. usl. lež. u sed. st. sa orgm.	gnezdasto-sočivast	uransko-ugljevita	uranska ugljevita materija, praškasta pehblenda, halkopirit, pirit, galenit	sočivasta nagomilanja ugljevitih peščara u proslojcima sivih alevrolitskih permotrijaskim peščarima		Dojkince
						uranska ugljevita materija, ugalj, halkopirit, markasit, malahit			Jelovica, Lokve, Dojkinačka i Vodenička reka

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
početna hercinska srednja	endogena	hidrotermalna	mezotermalni	prslinski	olovo-cinkovo bakarna	galenit, sfalerit, halkopirit, kovelin, kvarc	prslinska punjenja u gabrovima blizu kontakta sa mikrogranitom	neposredna veza sa mikrogranitom	Glogovica (Aldinci)
					gvožđa-olovo-bakarna	pirit, galenit, halkopirit, kvarc	prslinska punjenja u gabru uz kontakt sa granitom	neposredna veza sa granitom neposredna veza sa intruzijama	Srneći do (Mezdreja)
				gnezdast	gvoždevita	pirit sa malo ili bez kvarca	gnezdaste impregnacije u granitu, sočiva u gabru i dijabazu		Požarski do, Javanski do, Aldina reka, Rovinjska reka
				prslinsko-pukotinski	polimetalna	pirhotin, galenit, sfalerit, halkopirit, tetraedrit, minerali Bi, markasit, kvarc, kalcit, siderit	pukotinska punjenja u gabrovima u blizini proboja mikrogranita	neposredna veza sa mikrogranitom Aldinca	Aljin do
						galenit, sfalerit, halkopirit, tetraedrit, kvarc, kalcit, siderit			Zvorčino branište
			hipotermalni		gvožđa-bakarno molibdenitska	pirit, halkopirit, molibdenit, hematit, magnetit, kvarc	prslinsko pukotinska punjenja u gabrovima i dijabazima uz kontakt sa mikro granitom		Žljeburine
					gvožđa-molibdensko-uranska	pirit, molibdenit, tragovi šelita, kvarc, kaolinit	prslinsko-pukotinska punjenja u mikrogranitu		Repušnica. Cvetkov do, Sorčin do, Zvorčino branište
					bakarno-uranska	halkopirit, pirit, uraninit, magnetit-molibdenit, kovelin, halkozin	prslinska punjenja u gabrovima u blizini kontakta sa mikrogranitom		Trepetljak
		pirometasomatska	urano-torijan.		uransko-torijumova	sastojci granita, uranotorijanit, uraninit, kalcedon uprskan uraninitom, alanit	mineralisane zone na kontaktu granita i serpentina		Aldina reka
						kvarc, feldpsalt, alanit, sericit, kaolinit	pukotinsko-prslinska punjenja u granitu	neposredna veza sa granitom Janje	Gornji krst, Papratna, prođe, Umin do
			alanitski	cevast		alanit, pargasit, apatit, cirkon, sericit, feldspat	nepravilna cevasta punjenja u serpentinu		Aldina reka
		pegmatitska	uran sulf.	sočivast	uranska	kvarc, ortoklas, muskovit, uraninit, pirit, sfalerit, halkopirit, halkozin, kovelin	sočivasto punjenje u amfibolskom gnajsu		Golema reka
	ekzogena	biogena	uran. škrilj.		uransko-grafitska	grafit, pirit	sočivasta nagomilanja u grafitskim škriljcima	izvor urana nije poznat	Tumba, Inovska reka
	endogena	hidrotermal.	mezotermal.	prslin. pukot.	zlata	zlato, pirit, limonit, kvarc	prslinsko-pukotinska punjenja u stenama dijabaz-filitoidne serije	neposredna veza sa gabrovima	Inovska reka i dr.
		magmatogena	segregacioni	gnezdast	gvožđa-titanska	magnetit, hematit, ilmenit	gnezdaste i sočivaste impregnacije u gabrovima	neposredna veza sa gabrovima	Čani do, Janjska reka Žljeburine
					hromna	hromit	impregnacije i akcesorije u serpentinu	neposredna veza sa serpentinom	Aldina reka Papratna

vrlo bogatog amfibolom, apatitom i znatnim prisustvom alanita, a ređim pojavama turmalina. Žuto-zelene grusevite partije sadrže promenljive količine kalcita intimno izmešanog sa sastojcima iz čvršćih partija — kvarcom, ortoklasom, plagioklasom, amfibolom, hloritom, biotitom, apatitom, cirkonom i alanitom. Pored alanita u pojedinim delovima ovih zona konstatovan je urano-torijanit, uraninit i kalcedon uprskan finim prahom uraninita. Moćnost zone je promenljiva i kreće se od nekoliko do više desetina metara.

Mineralisane zone su produkt kontaktnog metamorfizma sa pojavama metasomatoze (granitizacije) granita na serpentine i mermere. Granitska magma u svom prodiranju naviše naišla je na kontakt serpentina i mermera i izvršila njihovu asimilaciju, pri čemu je mermer potpuno asimiliran. Na taj način magma je bila obogaćena kalcijumom i magnezijumom. Sa padom temperature nastaje kristalizacija uz obilno prisustvo gasova i para koje sadrže alkalni karbonat urana i torijuma. Oni sa granitskom magmom obogaćenom kalcijumom i magnezijumom grade karbonate ovih elemenata, a obaraju se uran i torijum gradeći urano-torijanit, uraninit i alanit. Ceo proces kristalizacije odvija se na sledeći način: najpre se stvaraju sporedni sastojci, zatim amfibol i turmalin, kalcijum vezuje alkalije gradeći kalko-alkalni feldspat, a uran i torijum se deponuju kao nerastvorni urano-torijanit, uraninit i alanit, dok se CO_2 oslobađa ili se vezuje sa viškom kalcijuma.

b) Pojave alanita na Staroj planini — Zapažene su u najistočnijem delu granitske gromade u Aldinoj reci i u njenom severnom delu u predelu Gornji krst — Prođe i Umin do.

— U Aldinoj reci otkriveno je u serpentinu nekoliko cevastih mineralizacija sa mestimičnim proširenjima u vidu gnezda, čija debljina varira od nekoliko santimetara skoro do jednog metra. One se sastoje od pargasita, alanita, apatita, cirkona i sericita, a ponegde i ružičastog feldspata.

— Na grebenu između potoka Prođe — Umin do javljaju se u zoni granita, sijenita i serpentina obično tanke žice sa nepravilno raspoređenim alanitom.

— U predelu Gornjeg krsta izgrađenom od granita, sijenita i serpentina otkrivena su u tektonskim zonama pružanja I — Z nagomilanja alanita, kvarcno-feldspatska sočiva i tanke glinene žice.

c) Uraninitsko-halkopiritski tip — Otkriven je u potoku Trepetljak kod sela Aldinca. U gabrovima blizu kontakta sa granitom javlja se žica debela 5 — 15 cm i sistoji se od pirita, halkopirita, magnetita, hematita, halkozina i kovelina. Radioaktivni mineral je uraninit, razvijen u obliku nepravilnih zrna po pukotinama magnetita. Na nekim mestima žice mogle su se zapaziti fine prevlake i impregnacije molibdenita, koji je takođe pronađen u istražnim rudarskim radovima izvođenim u ovoj lokalnosti.

d) Molibdenitski tip — Zastupljen je samo u predelu sela Aldinca i Repušnice u nekoliko manjih pojava, koje sve imaju pravac pružanja SSI — JJZ ili SSZ— JJI.

Tako se kod sela Repušnice u prslinama i pukotinama mikrogranita u blizini kontakta sa gabrom, katkad ispunjenim kaolinitom ili kvarcom sa ponekim zrnom šelita, javljaju nepravilna zrna pirita, prevlake i gnezdašca molibdenita i impregnacije i prevlake limonita. Debljina ovih radioaktivnih impregnacija i mineralisanih partija ne prelazi jedan metar.

U potpuno raspadnutom i zdrobljenom aldinačkom mikro-granitu u Cvetkovom dolu javljaju se u blizini njegovog kontakta sa gabrovima impregnacije molibdenita u jednoj piritsko-kvarcnoj zoni dugoj preko 100 metara. Kvarcne žice ovde ispunjavaju pukotine čiji su zidovi impregnisani molibdenitom. Pirit, molibdenit, magnetit sa pretvaranjima u martit i vrlo retko hematit fino su uprskani u kvarc ili stenu. Radioaktivnost je neravnomerno raspoređena po celoj zoni.

Najzad, više piritskih žica povećane radioaktivnosti sa molibdenitom nalaze se u kompaktnim mikrogranitima Sorčin dola i Zvorničkog Braništa kod sela Aldinca.

3. Hidrotermalne pojave — Hidrotermalne mineralizacije i orudnjenja javljaju se na Staroj planini samo u granitima i to u dva područja. Veće područje sa ekonomski značajnim pojavama u granitskoj gromadi Janje i manje sa neznatnim mineralizacijama u granitu područja Aldinac — Repušnica. Sve ove mineralizacije pripadaju srednjoj alpskoj etapi stvaranja. Sa sigurnošću se može tvrditi da je bilo više faza u stvaranju mineralnog sadržaja žica, zavisnih uglavnom od temperature rastvora i tektonskih zbivanja. Otuda nije redak slučaj da su se stvarale pukotine koje su koristili rastvori na mestima već predisponiranim ranije stvorenim žicama kvarca, dijabaza ili lamprofira.

Najveći broj mineralisanih tektonskih zona ima pravac pružanja SZ — JI sa padom u SI ili JZ polje, dok se manji broj pruža I — Z i tada se radi o pojedinačnim žicama. Unutar zone ima obično više žica, više ili manje paralelnih ili isprepletanih, kao i brečastih i zdrobljenih partija. Moćnost tektonskih zona može iznositi 50 pa i više metara, prostiru se više kilometara, dok im je dubina nepoznata, ali je nesumnjivo znatna. Što se tiče radioaktivnih mineralizacija one su vrlo neravnomerno raspoređene u rudnim žicama više po pružanju zona nego po padu.

Minerali urana, prema D. Radusinoviću, predstavljeni su žilicama, prevlakama i impregnacijama pehblende, kao i dispersnom asocijacijom pehblende, limonita ili kalcedona. Sem pirita metalični minerali su neznatno zastupljeni i obično su finozrni. Od minerala ganga javljaju se kvarc, kalcedon, kalcit, dolomit, stroncijanit, barit, sericit, ilit, kaolinit i montmorionit. Česta je pojava

hematizacije i drugih produkata koji prate hidrotermalnu alteraciju.

Na osnovu mineralnog sadržaja, odnosno oblika pojavljivanja urana, kao i sredine u kojoj se javljaju, razlikuju se dve vrste mineralizacija, iako se one bar u najbolje istraženim pojavama javljaju u jednoj istoj mineralnoj žici. Tako razlikujemo mineralizacije sa pehblendom i mineralizaciju u glinenim žicama, jer se odlikuju karakterističnim paragenezama.

a) Pojave pehblende su otkrivene samo u istražnim radovima koji su presekli dublje delove kvarcnih ili tzv. »glinovitih« žica, čiji su izdanci mestimično vidljivi na površini terena. Središne delove ovih žica sačinjavaju trošan ili ispucao kvarc, katkad debeo i više metara, ili mnogo češće brečoidni ili milonitizirani granit prožman žilicama sericita, karbonata (dolomita i stroncijanita) i metaličnih minerala (D. Radusinović): pirita, markasita, halkopirita i pehblende u obliku žilica, prevlaka, impregnacija ili dispersno izmešane sa limonitom i čestim izlučivanjem pehblende. Sporadično u minimalnim količinama javljaju se magnetit, arseno-pirit, tetraedrit, sfalerit, galenit i krajnje retko sitne inkluzije koje podsećaju na minerale bizmuta, nikla i kobalta.

Salbande žica čine obično jasno izraženi, glinoviti deo, izgrađen od sericita, kaolinita i monmorionita u koji su uvaljani odlomci sastojaka granita, karbonata, barita, pirita (95% svih metaličnih minerala), po nekoliko zrna galenita, halkopirita, markasita, pirhotina, limonita, hematita, sulfosoli bizmuta sa izdvajanjima metalnog bizmuta i kovelina.

Prema izgledu mineralnih sastojaka vidi se da su ove žice izgrađene od odlomaka jako milonitiziranih granita, čiji su feldspati sericitisani, a da su naknadno u njoj deponovani iz hidrotermalnih rastvora kvarc, karbonati, kalcedon, barit, metalični minerali i pehblenda.

b) Pojave radioaktivnih »glinovitih« žica su mnogobrojne u granitskoj gromadi Janje. Javljaju se ili na njenim kontaktima sa okolnim stenama ili u samim granitima.

Karakteristično je za sve žice da se sastoje od mešavine promenljivih količina sericita, kaolinita, montmorionita, karbonata, mineralnih sastojaka granita i u podređenoj količini sitnih zrna metaličnih minerala, da su postale hidrotermalnim putem i da se odlikuju povećanim sadržajem urana.

Stvaranje glinovitih materijala neosporno vodi poreklo od granita kao matične stene. Kao produkti raspadanja feldspata glinoviti produkti se javljaju kao prevlake ili skrame po pukotinama stena, a najčešće u većoj količini u tektonskim zonama ili na kontaktu granita sa ostalim stenama.

Stvaranje produkata raspadanja ovako raznolikog sastava moglo bi se pripisati dejstvu niskotemperaturnih hidrotermalnih voda koje su cirkulisale kroz pukotine i prsline i delujući na granit razlagale feldspate na sekundarne produkte. U prisustvu Mg-jona stvorio bi se ilit, a tamo gde ga nije bilo stvarao se kaolinit i karbonati.

Ovakve radioaktivne glinovite žice otkrivene su u Gradiškom dolu, prostoru Cerače — Debeštica, »janjskoj anomalijskoj zoni«, Janjskoj reci, Golemom dolu, Smećem dolu, Inovskoj reci, Maloj reci, Bajin dolu, Majin dolu, Aldinoj reci, Matevoj padini itd.

4. Uranonosni crni marinski škriljac — U grafitnim škriljcima Inovske serije otkriven je niz sočivastih uranskih mineralizacija.

Ovakve pojave malog prostranstva otkrivene su na nekoliko mesta u Inovskoj reci i Tumbi daleko od kontakta sa granitom. Smatra se da su ove pojave singenetskog porekla, a pripadaju početnoj hercinskoj etapi stvaranja.

5. Uranski ugljevi — U južnom delu Stare planine u uzanom pojasu (širine 1 km) peščara uz trijaske krečnjake otkrivene su uranske mineralizacije vezane za ugljevite peščare i žilice uglja u njima. Mestimično javlja se po prslinama i malahit.

Ovakve pojave male moćnosti i prostiranja najbolje su proučene kod sela Jelovice i u potocima Lokva, Dojkinačkoj i Vodeničkoj reci (A. Antonović).

U srednjezrnim peščarima sa proslojcima alevrolita (permo-trijasa) nabušena je uranska mineralizacija vezana za partiju peščara sa dispersnom organskom materijom. Uranska mineralizacija je nevidljiva ili predstavljena impregnacijama i žilicama pehblende praćena sa malo halkopirita, halkozina, pirita i galenita. Ove mineralizacije pripadaju početnoj alpskoj etapi stvaranja.

U severnom delu Stare planine, u Maloj reci kod sela Petruša, otkriveni su neogeni konglomerati sa muglama radioaktivnog uglja. Mugle su nepravilnog oblika i rasporeda i sadrže još magnetit, halkopirit i markasit. Pripadaju završnoj alpskoj etapi stvaranja.

6. Uranske mineralizacije u neogenim sedimentima — U severnom delu Stare planine, na kontaktu zelenih breča i neogenih konglomerata u Štitarskoj reci, otkriven je izdanak zeleno-plavih uranonosnih glina moćnosti 0,7 m. Sa dubinom postepeno opada sadržaj urana, pa su one ocenjene kao infiltracione mineralizacije završne alpske etape stvaranja.

C. Rudna ležišta

Od svih otkrivenih radioaktivnih mineralizacija na Staroj planini detaljnije su istraživane samo one u lokalnostima Aldina reka, Mezdreja i Gabrovnica. Ovde će biti opisane samo poslednje dve, jer je za pojave u Aldinoj reci utvrđeno da nemaju ekonomsku vrednost.

1. Mezdreja — Istražni radovi izvođeni su na terenu između Debeštičke i Crnovrške reke u neposrednoj blizini sela Mezdreje.

a) Geologija i tektonika uže okoline radova — Teren okoline Mezdreje izgrađen je od stena crnovrške serije, gabroidnih, granitskih i dioritskih stena (blok-dijagram, B. Sikošek, sl. 2).

Crnovrška serija se javlja u vidu manjeg pojasa na severnom i severnoistočnom delu terena i predstavljena je amfibolitima, amfibolsko-epidotsko-hloritskim i sericitskim škriljcima, filitima i gnajsevima koji pripadaju seriji mlađeg paleozoika, konkordantno leže jedni preko drugih, a pružaju se pravcem SZ — JI. Ova serija je probijena manjim masama dijabaza.

Gabrovi su predstavljeni uralit i sosirit tipovima, mehanički su zdrobljeni i izmešani sa amfibolitima i serpentinima nastalim njihovom metamorfozom. Pored gabrova, mada vrlo retko, zapažaju se i manje pojave dijabaza.

Graniti su najrasprostranjenija petrografska jedinica i predstavljeni su biotitskim tipom. Njegovi varijeteti sa muskovitom produkt su pretvaranja biotita i feldspata, a amfibolski endomorfizma granitske mase. Oni su nesumnjivo mlađi od gabro-amfibolskih stena i crnovrške serije. U granitima su zapažene mehaničke i hidrotermalne promene. Mehaničke promene su zahvatile celu masu granita ali su naročito izražene u zonama jakog drobljenja i milonitizacije, gde je došlo do stvaranja jako kataklaziranih granita sa brečastom, tzv. »malter« strukturom i pojavom pravih milonita.

Hidrotermalne promene su, takođe, zahvatile celu granitsku masu i manifestuju se, s jedne strane, u intenzivnoj silifikaciji naročito izraženoj u zonama milonitizacije granita i s druge strane, u stvaranju mnogobrojnih sericitsko-kaolinitsko-montmorionitskih žica, nastalih pretežno alteracijom feldspata i delimično deponovanjem ovih materija duž pukotina u granitu, koje vode poreklo bilo od poliedarskog lučenja, bilo od tektonskih pokreta.

Granitska magma prilikom utiskivanja izvršila je znatne promene na okolnim stenama. Uticaj granitske magme na stene crnovrške serije ogleda se u povećanoj silifikaciji, feldspatizaciji, sericitizaciji i intenzivnoj hloritizaciji i epidotizaciji amfibolskih stena. Na kontaktu sa gabrovima i amfibolitima došlo je do stvaranja stena amfibol-granitskog i dioritskog sastava, koje obično karakterišu ovakve kontakte. Promene gabroidnih stena ogledaju se u njihovoj amfibolitizaciji i alkalnoj metasomatozi amfibolita koja je najjače izražena u biotitizaciji amfibola i obogaćenju — mikroklinom. Ovakve pojave zapažaju se duž celog kontakta. Prilikom intruzije granitska magma zahvatila je blokove gabroidne i amfibolske stene i izmenila ih je u različitom stepenu u zavisnosti od njihove veličine, tako da potpuno izmenjeni delovi ogdovaraju dioritima.

Partija granita iz područja Mezdreje predstavlja jugoistočni deo granitske gromade Janje (B. Sikošek). Tektonika ove eruptivne mase ima sve odlike kompresione tektonike krutih masa. Sve se dislokacione linije nalaze u određenom sistemu i grupisane su u tri osnovna pravca: S — J, I — Z, SZ — JI.

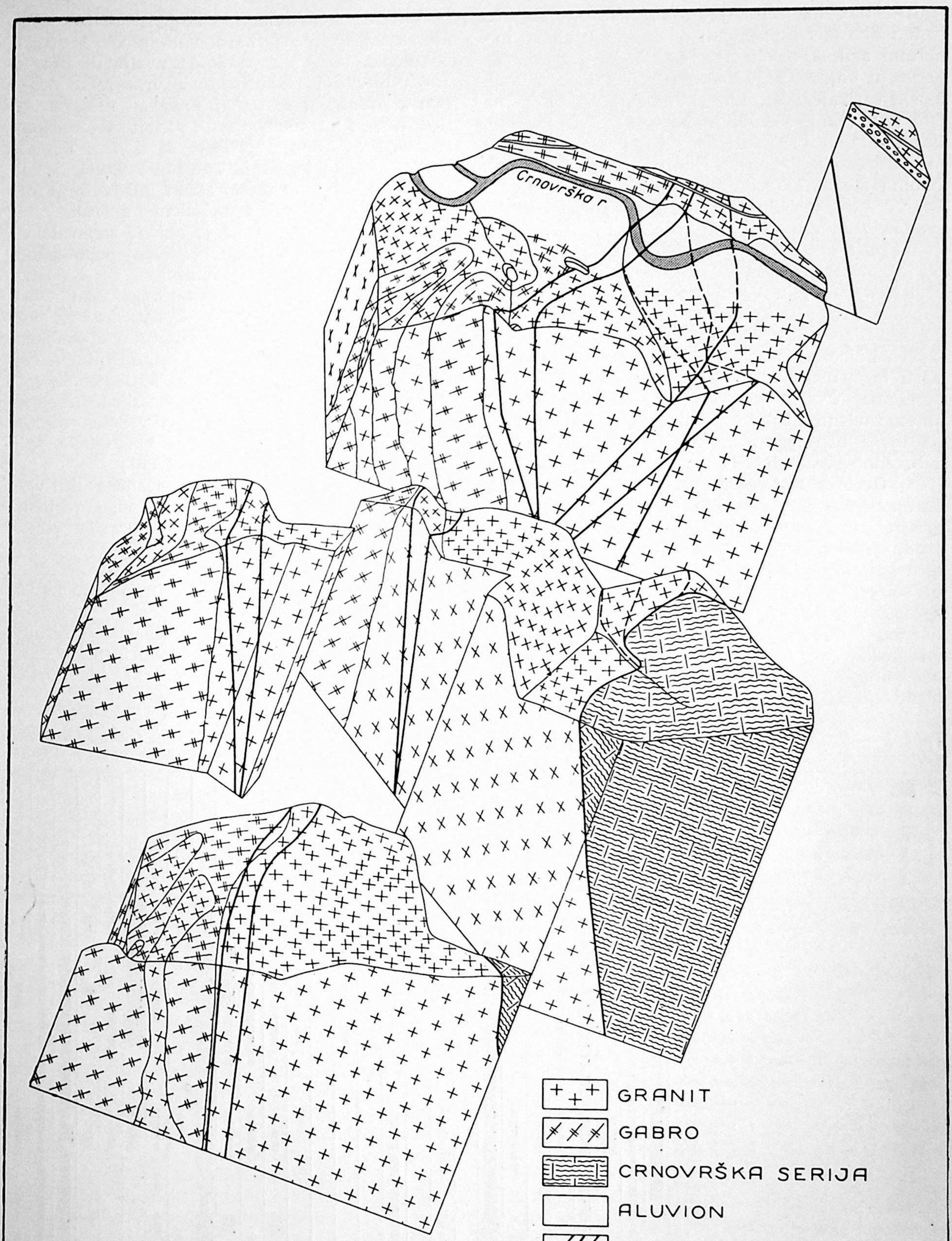
Za vreme tektonskih pokreta graniti su se, zajedno sa pojasom zahvaćenih gabrova, ponašali kao jedinstveni blok, tako da dislokacione linije nepravilno presecaju kontakte između granita i gabrova. Jugoistočni obod granitske mase čini crnovrška serija, koja je navučena na granit duž izrazite tektonske površine. Ova linija navlačenja je vidljiva i može se pratiti duž kontakta.

U samom granitskom telu stvoren je, u orogenim fazama alpske orogeneze, sistem dislokacija, koji u obliku mreže preseca celu masu. Rasedne površine padaju strmo (sa padom oko 60°) u zapadno, istočno, severno i južno polje; one su duboke i duž njih je izvršeno diferencijalno kretanje pojedinih blokova. Ova mreža dislokacionih linija, koje su udaljene među sobom nekoliko desetina do nekoliko stotina metara, zahvatila je celu granitsku masu i ide do mikroskopskih dimenzija, tako da su svi sastojci stene ispresecani mrežom prslina. Ovaj sistem omogućavao je prožimanje hidrotermalnim rastvorima celokupnog tela. Rastvori su se kretali kroz duboke dislokacije, koje u ovom sistemu predstavljaju linije prvog reda.

Jedna od najintenzivnijih dislokacija nesumnjivo je ona koja se nalazi u intenzivnoj zoni Cerače i Debeštica, a sigurno je tektonske prirode. Ova se dislokacija pruža u pravcu SZ — JI duž celog terena. U predelu Cerače u njen sastav ulaze mineralisane zone, koje predstavljaju žice No 0 i No 1 (blok-dijagram). Ova linija pada u SZ polje pod uglom od 60°. Ona se nastavlja preko sela Janje, zatim između Muslinog perčina i Vražje glave i Inovske reke prema SZ. Nju presecaju dislokacije koje su orijentisane manje-više I — Z odnosno ZSZ — IJI sa padom uglavnom u JZ i Z polje. Intenzivna hidrotermalna alteracija primećena je baš na mestima na kojima presecaju tu tektonsku zonu. To bi možda govorilo u prilog pretpostavci, da su linije koje ulaze u sastav pomenute tektonske zone činile glavne kanale duž kojih su cirkulisali rastvori, koji su se zatim razlivali i kretali i kroz slobodne prostore koje su predstavljale dislokacije koje seku te glavne kanale, a zatim »prožimale« sve prsline.

U prostoru Cerače utvrđen je prilično gust splet dislokacija. Položaj i odnos utvrđenih dislokacija u ovome prostoru prikazan je na blok-dijagramu (sl. 2).

Postrudna tektonika izražena je naročito u južnom delu rudnih žica No 0 i 3 u Cerači i Oraškom dolu i manifestuje se rasedima pravca I — Z. Dosadašnjim istraživanjima otkrivene su u granitima četiri rudne žice koje su označene brojevima 0, 1, 2 i 3. Orudnjenje je vezano za jasno izražene tektonske linije pružanja SZ — JI 340° i padom u SI polje — žice broj 0 i 1, odnosno JZ polje — žice broj 2 i 3 pod oko 60°. Moćnost žica jako varira od nekoliko santimetara do preko 6 m.



Sl. 2 — Blok-dijagram ležišta urana Mezdreja

Fig. 2 — Block diagram of the Mezdreja ore deposit

c) Mineralni sadržaj rudnih žica — Za sve rudne žice karakteristično je da imaju sličan mineralni sadržaj, sastavljen iz dve ili tri komponente, u kojima pojedini mineralni sastojci količinski variraju u širokim granicama unutar jedne iste žice (tabl. 3). Jednu komponentu predstavljaju komadi kataklazirane okolne stene, drugu milonitizirana i zatim sericitisana i kaolinitisana okolna stena, a treću jalovi visokotemperaturni kvarc. Ova poslednja komponenta nema neposredne veze sa docnijom mineralizacijom. Koja će od prve dve komponente da preovlađuje zavisi od intenziteta milonitizacije okolne stene. Vrlo je čest slučaj da glinovita komponenta čini salbande čvrstim, mada ima partija u rudnim žicama koje su izgrađene pretežno od nje. Kvarc izgrađuje sočiva i žice nekad duge i preko 100 metara, sterilan je, a orudnjenje se javlja po njegovim salbandama. Čvrsta komponenta je različitog sastava, zavisno od petrografske vrste okolne stene, pa može biti izgrađena od granita, hibridnih i gabroidno-amfibolitskih stena ili grafitnih škriljaca. Ovde će biti opisan samo slučaj kad je ova komponenta izgrađena od granita, jer ostali igraju podređenu ulogu i nemaju ekonomsku vrednost. Komadi kataklaziranog izmenjenog granita ispresecani su žilicama kvarca i karbonata, ili su pretvoreni u sericitno-karbonatno-kvarcni agregat u kome su zaostali krupni kristali sericitisanog i kaolinitisanog plagioklasa, ortoklasa i mikroklin-pertita, takođe prožmani žilicama karbonata i kvarca. Uranonosni minerali su pehblenda, pirit i karbonati.

Glinovita komponenta sastoji se od izdrobljenih sastojaka stena, karbonata, pirita i drugih metaličnih minerala (tabl. 2) uvaljanih u sericitsko-ilitsku i kaolinitsku, a vrlo retko još i montmorionitsku masu. Uranonosni minerali su pirit, raspadnuti biotit, barit i sericitisani feldspat.

Kao redi sastojci javljaju se u ovoj komponenti: sveži i hloritisani amfibol i biotit, cirkon i apatit, a kao vrlo retki: alanit, turmalin, piroksen, zoizit, rutil, šelit i metalični minerali.

Uranska mineralizacija je obično samo delom predstavljena golim okom vidljivom pehblendom i javlja se u sledećim oblicima:

— kao žilice ili gnezdasta nagomilanja masivne pehblende debljine 1—2 cm. Ovakva pehblenda otkrivena je samo u žici br. 3 u Oraškom dolu, kota 620 m i nalazi se u grafitnim škriljcima i u Ceraču, kota 520 m u kataklaziranom i silifikovanom granitu. Drugi metalični minerali su neznatno zastupljeni zrnima veličine do 500 mikrona, sem pirita, galenita i halkopirita, koji mogu dostići veličinu i preko 1 cm;

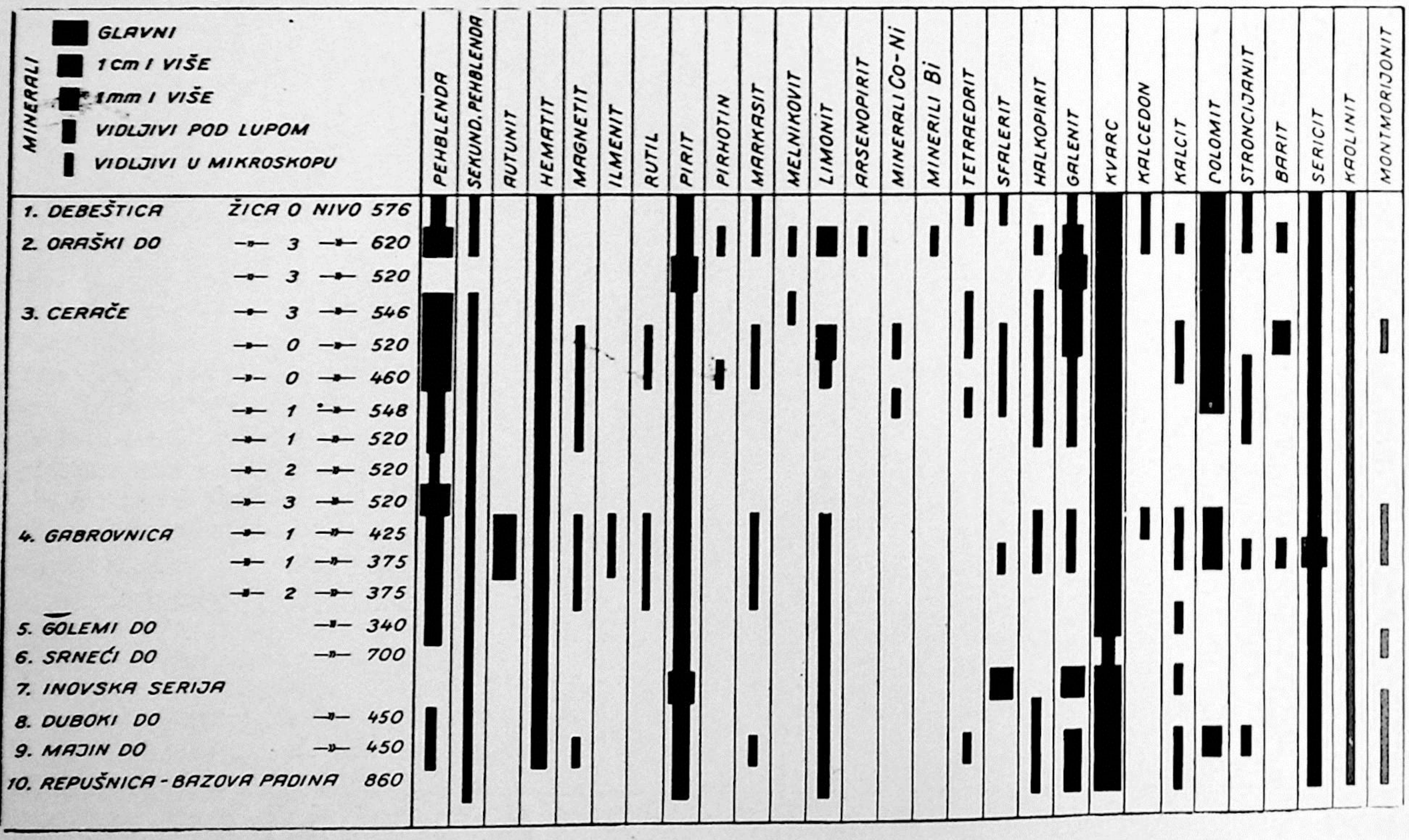
— kao zrnca nekad ritmički građena ili u vidu gnezdašca uprskani u steni ili gangu. Veličina zrnaca ne prelazi 0,5 cm. Nalazi se u svim rudnim žicama (sl. 3);

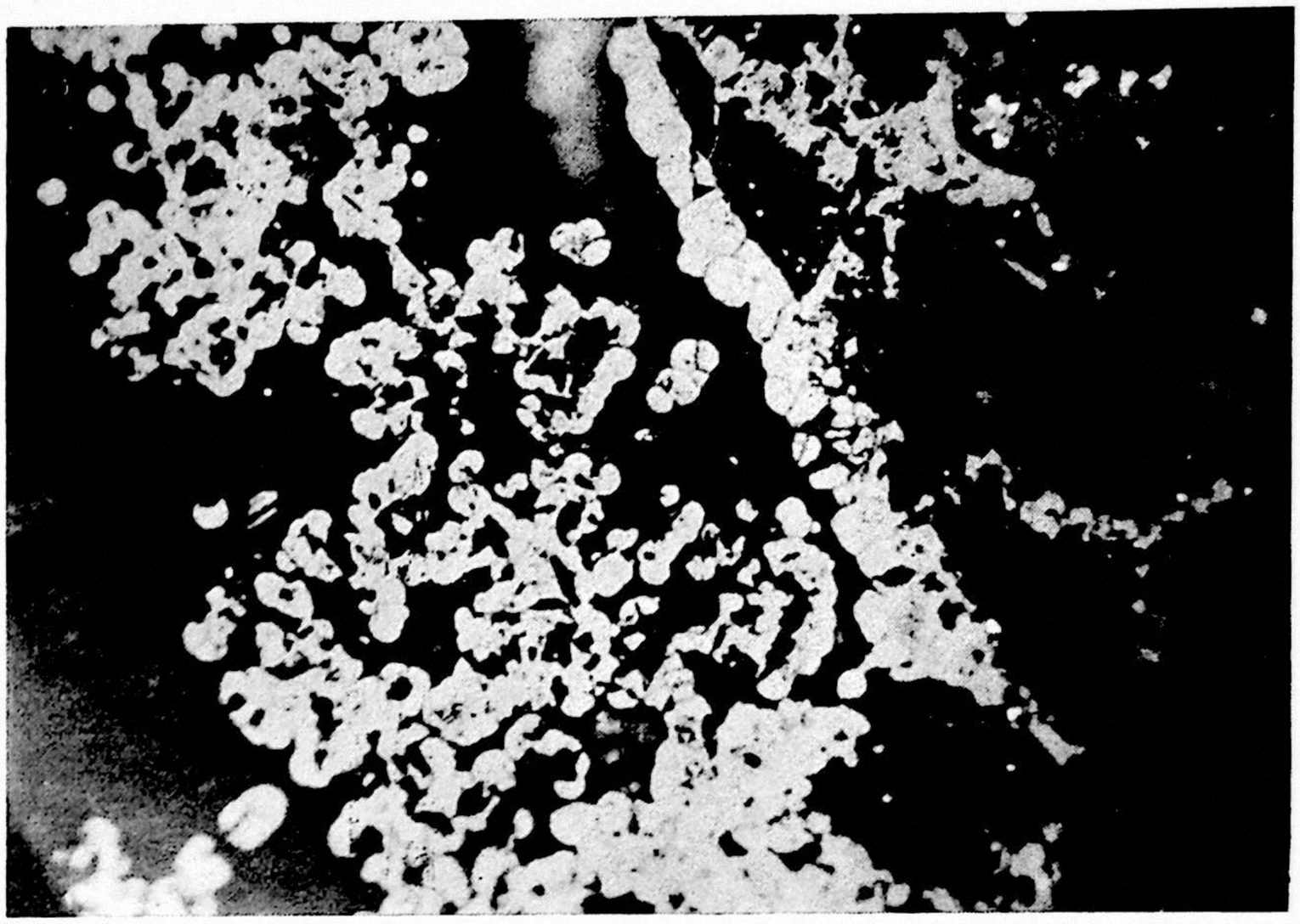
— kao prevlake po prslinama kataklaziranog i sericitisanog granita. Debljina im ne prelazi 500 mikrona, a nalaze se češće;

— kao fine praškaste impregnacije u sericitisanim feldspatima ili u kalcedonu intimno izmešane sa limonitom. Pretpostavlja se da ovakva pehblenda čini pirit uranonosnim.

Tabl. 3 — Rasprostranjenje minerala iz radioaktivnih mineralizacija granitske gromade Janje

Table 3 — The mineral distribution from radioactive mineralisation in the Janja granitic massif





Sl. 3 — Ritmički građena pehblenda (prema D. Radusinoviću)

Fig. 3 — The botryoidal pitchblende (according to D. Radusinović)

U gornjim delovima žica mnogo je češća pojava da nije vidljiva uranska mineralizacija, već da je adsorbovana od sericitisanih feldspata, sericitsko-kaolinitskom masom ili raspadnutim biotitom. Količina ovako adsorbovanog urana može dostići 80% od ukupnog sadržaja.

Minerali ganga predstavljani su žilicama kvarca, kalcedona, kalcita, dolomita, stroncijanita i biotita čija moćnost može da dostigne i više santimetara, ali obično ispunjavaju prsline ili cementuju komade čvršće komponente. Sericit, kaolinit i montmorionit su, takođe, univerzalno rasprostranjeni, ispunjavaju prsline i pukotine u stenama ili njihovim mineralnim sastojcima, koje u glavnoj komponenti i cementuju.

Vrlo je teško postaviti paragenetski redosled kod ovakvog načina pojavljivanja, jer se metalični minerali javljaju većinom kao usamljena zrna. Ipak je na osnovu pojedinačnih pojava zamenjivanja iz raznih delova rudnih žica postavljen sledeći paragenetski red (D. Radusinović): pirhotin, pirit I (idiomorfan), kvarc, arsenopirit, pirit II, pehblenda, halkopirit, galenit, barit, stroncijanit i dolomit, kalcedon i sekundarna pehblenda.

Što se tiče temperature stvaranja ovako oskudne mineralizacije, smatra se da je kvarc postao na temperaturi od 160 do 210°C (na osnovu delimično izvršenih geotermo-metrijskih ispitivanja dekripitacionom metodom. D. Kleut), sericit i kaolinit na temperaturi od 150 — 200°C, a uranonosni pirit i valerit na temperaturi takođe oko 200°C. Na osnovu paragenetskih odnosa i temperature stvaranja kvarca i sericita, smatra se da je i uranska mineralizacija stvarana na istoj temperaturi (u delu rudnih žica iznad 520 m).

2. Gabrovnica — Istražni radovi izvođeni su ovde na desnoj obali Brezove reke u selu Gabrovnici, koja se nalazi 3 km severoistočno od Kalne.

a) Geologija i tektonika — Uža okolina radova izgrađena je od biotit i amfibol granita, gabro-amfibolitskih i hibridnih stena sa probojima dijabaza. Zbog velike sličnosti sa stenama Mezdreje ovde neće biti opisivane. Tektonika je, takođe, izražena na sličan način, ali se može napomenuti da su dislokacije ponovo otvorile starije pukotine ispunjene kvarcom ili dijabazom. Kao posledica intenzivne prerudne tektonike na mestima na kojima je dislokacija presecala hibridne ili gabro-amfibolske stene, postaju one filitične ili su pretvorene u prave filonite. Ova poslednja sastoji se od liski hlorita i sitnih zrnaca kvarca.

Orudnjenje je vezano za jasno izražene tektonske linije pružanja SZ — JI sa padom ka SI pod oko 58°. Moćnost žica jako varira od 0,17 — 10 m.

c) Mineralni sadržaj rudnih žica — Obe istraživane rudne žice imaju sličan mineralni sadržaj. On se sastoji iz 4 komponente: kataklazirane okolne stene, glinovite, kvarcne i dijabazne, a varira u širokim granicama jedne iste žice. Za razliku od rudnih žica u Mezdreji ove iz Gabrovnice na nekim mestima sadrže pored visokotemperaturnog kvarca još i dijabaz, ali ove dve komponente su mnogo starije od metalične mineralizacije i nemaju s njom nikakve veze. Dalje, na mestima gde su salbande izgrađene od filonita primećuje se u glinovitoj komponenti nešto povećan sadržaj hlorita koji je nastao drobljenjem ove stene.

Glinovita komponenta se na pojedinim mestima sastoji pored sericita i kaolinita još i od montmorionita.

Paragenetski odnosi i temperatura stvaranja mineralizacije su identični sa rudnim žicama u Mezdreji.

Najzad, uranska mineralizacija ovde je mnogo manje vidljiva nego u Mezdreji i do sada nisu otkrivene žilice pehblende. Ostale karakteristike

mineralnog sadržaja rudnih žica Gabrovnice su slične sa mezdrejskim.

Uranska mineralizacija je samo retko vidljiva u obliku prevlaka sekundarne pehblende. Uranonosni su najčešće pirit, po čijim se prslinama retko primećuju crne inkluzije mikronske veličine, feldspati impregnisani finim crnim prahom ili sericitisani i kaolinisani, hlorit, sericit i kaolinit i najzad barit.

D. Genetska razmatranja

1. Postanak ležišta — Na osnovu dosadašnjih terenskih promatranja i laboratorijskih ispitivanja smatra se da su uranske mineralizacije u granitskoj gromadi Janje postale iz srednjetemperaturnih hidrotermalnih alkalno-karbonatnih rastvora u već davno konsolidovanom i znatno erodovanom granitskom plutonu. Razlozi za ovakve pretpostavke su sledeći:

a) Graniti u okolini rudnih pojava pokazuju sve stadijume drobljenja, počev od slabo kataklaziranog pa do pravih milonita. Mreža dislokacionih linija zahvatila je celu masu granita i ide do mikroskopskih dimenzija, tako da su svi sastojci stena ispresecani mrežom prslina. Pored ovoga postoje jasno izražene i duboke tektonske linije koje su mestimično zahvatile ranije stvorene žice kvarca i dijabaza.

b) Hidrotermalna aktivnost je intenzivno izražena i manifestuje se sericitizacijom, kaolinitizacijom, piritizacijom, hematitizacijom, karbonatizacijom i silifikacijom. Ovi produkti hidrotermalne alteracije stena su naročito izraženi u milonitiziranim partijama i manifestuju se pojavom glinovitih žica. Dosadašnja ispitivanja su utvrdila da je neznatno dejstvo ugljene kiseline iz površinske vode te su pomenute promene granita tipične za hidrolitičko dejstvo hidrotermalnih vodenih rastvora.

Mnogo je značajnije, međutim, stvaranje epigenetskih primarnih hidrotermalnih oreola rasejavanja urana, u katkad preko 100 m širokom pojasu duž zona drobljenja granita. Na taj se način povećava sadržaj urana u granitu i do više od 10 puta.

Ovakvi pojasevi povećanog sadržaja urana u granitu duž izrazitih tektonskih zona mogu korisno da posluže kao indikacija skrivenih rudnih tela u dubljim delovima tih zona.

c) Hidrotermalni rastvori su sadržavali kalijum i natrijum-hidroksid i mogli su da rastvaraju malo urana, a znatno manje torijuma. Ovo rastvaranje nije značajno u laboratorijskim uslovima, ali u geohemijskim zadobija veliki značaj. Rastvorni uran prenosili su hidrotermalni rastvori u vidu alkalnog uranata u gornje delove granitskog plutona, gde se vršilo deponovanje urana. Pirit, koji se nalazi u stenama bokova, stvarao je sa drugim rudnim mineralima galvanske struje, koje su ubrzavale proces rastvaranja, oksidacije i ispiranja komponenata stena bokova i njihovo unošenje u rudnu pukotinu. Prisustvo plagioklasa i drugih minerala sa sadržajem kalcijuma i magnezijuma snižava rastvorljivost uranata i izaziva taloženje četvorovalentnog i šestovalentnog urana, ali izgleda da su i pomenute galvanske struje menjanjem ravnoteže u rudonosnim rastvorima takođe uticale na deponovanje pehblende. Ali u stenama sa većim sadržajem kalcijuma i magnezijuma (amfibol-graniti, sijeniti, gabrovi, amfiboliti i hibridne stene) zbog povećanog sadržaja ovih elemenata u rastvorima potpuno se onemogućuje prenošenje urana.

Prilikom kretanja alkalno-karbonatnih rastvora ka površini, prolazili su oni kroz zone mehanički deformisanih granita, u kojima postoje uslovi za naizmenično rastvaranje urana i njegovo deponovanje. Ovaj proces u krajnjoj liniji vodi, s jedne strane, ka ispiranju granita, a, s druge strane, ka obrazovanju mineralizacija u neposrednoj blizini ili dalje od mesta rastvaranja.

2. Kontrola orudnjenja — U Mezdreji su radioaktivni izdanci rudnih žica bili izgrađeni od sericita i malo kaolinita. Kod ovih glinovitih izdanaka pH je iznosio 7. Glinovita materija je zaklapala kristalna prorastanja loptastog oblika uranonosnog pirita, naročito na mestima povećane radioaktivnosti. Ovde nije bilo i nema ispiranja niti prinosa urana, zbog neutralne sredine, te su to i najradioaktivnija mesta na površini granitske gromade. Oko izdanaka rudnih žica razvijene su dosta prostrane primarne epigenetske oreole rasejavanja urana, koje mogu da zhvataju stotinu i više metara široki pojas. U neposrednoj okolini rudnih žica sadržaj urana u granitu se kreće od 25 — 90 gr/t.

Dok iz uranonosne gline nema ispiranja ova epigenetska hidrotermalna oreola rasejavanja može da bude podvrgnuta intenzivnom ispiranju, naročito na mestima iznad podzemnih rudarskih radova, jer oni otvaraju puteve prodiranja površinskih voda kroz kapilare, kataklaze i prsline, sve do nivoa podzemnih voda. Pre izvođenja rudarskih radova kretanje površinskih voda je bilo najčešće neznatnih razmera.

Vremenom se ispiranje urana povećava, naročito zbog sve većeg raspadanja pirita kako iz stena bokova tako i iz brečastog punjenja rudnih žica. U području do nivoa izdani počinje sve obilnije stvaranje limonita i na taj se način stvara recentna cementaciona zona.

U delovima rudnih žica, iznad osnovnog horizonta 520 m, hidrotermalne promene granita najčešće se manifestuju sericitizacijom feldspata, hloritizacijom biotita, a znatno manje silifikacijom i hematitizacijom.

Rudarski radovi koji su izvođeni ispod nivoa 520 m pokazali su da su hidrotermalne promene stena bokova izrazitije, dok sericitizacija, hloritizacija, silifikacija, a naročito sve intenzivnija hematitizacija sve očiglednije ukazuju na stvaranje orudnjenja u mezotermalnom području. Na to

ukazuju i geotermometrijska ispitivanja crvenog rudnog kvarca 340°C, kao i uranonosni pirit koji se stvara na 200°C.

Što se tiče kontrole orudnjenja bilo je još ranije zapaženo da se sa približavanjem rudnih žica dijabazima ili amfibolitima, naglo opada sadržaj urana (ne prelazi 50 gr/t urana), da po izlasku iz ovih bazičnih partija stena bokova, opet počne da se povećava. Taj nas je fenomen i naveo da pretpostavimo da su hidroterme imale alkalno-karbonatni karakter, kao što je to bilo izloženo u odeljku o genetskim razmatranjima.

Zapažanja do kojih se došlo posmatranjem intenziteta orudnjenja u rudarskim radovima ispod horizonta 520 m ukazuju da uglavnom dva faktora utiču na kontrolu orudnjenja. To je, na prvom mestu, debljina rudnih žica, odnosno stepen milonitizacije i sericitizacije, koji je u vezi s tim i drugo, litološki sastav stena bokova i intenzitet njihove piritizacije.

Na mestima gde se žica sužava, došlo je do većeg milonitisanja matične stene, koja je zapunjavala žični prostor. Topli alkalno-karbonatni rastvori izvršili su pretvaranje zrnaca feldspata u sericit i kaolinit, koji su za vreme proticanja tih rastvora adsorbovali izvesnu količinu urana. Posle pretvaranja feldspata i biotita prestajala je u tom delu žice cirkulacija vode, a ako nije bilo prslina u stenama bokova nije ni u njima bilo kretanja rastvora. Zato su takvi delovi rudnih žica i najsiromašniji u celom rudištu. Sa proširivanjem žice, smanjuje se milonitska komponenta, ona se ograničava na salbande te žično punjenje postaje brečasto. Ono se najpre obogaćuje silicijom, a zatim karbonatnom materijom. Uransko orudnjenje je znatno bogatije i predstavljeno je ovalnim zrnima pehblende. Hematitizacija, koja se jedva zapaža u suženim partijama rudnih žica, ovde je vrlo intenzivna i odgovara docnijim stadijumima hidrotermalnih promena granita. Žično punjenje brečoidnog izgleda ima jasne glinovite salbande, mestimično sa ogledalima prevučenim bilo hematitom bilo prevlakama pehblende.

Pored takve strukturne kontrole, mada znatno manje izražena u Mezdreji, zapažena je i litološka kontrola. Kažemo znatno manje, jer ima malo dijabaznih dajkova, uklopaka bazičnih stena i dajkova lamprofira kroz koje se probija žica. Takve partije rudnih žica su i sa najmanjim sadržajem urana.

U ležištu u Gabrovnici slični su odnosi kao u Mezdreji, samo što je u nekim delovima rudnih žica znatno zastupljena orudnjena stena filonit, koji se sastoji od zrnaca kvarca i liski hlorita, kao i kvarcno i dijabazno punjenje.

3. Promene okolnih stena — Sistem dislokacija, koji u obliku mreže preseca celu masu granita i ide do mikroskopskih dimenzija, omogućuje prožimanje hidrotermalnim rastvorima celokupnog tela granita. Otuda su promene granita oko rudnih žica zahvatale velike površine. One su najintenzivnije u milonitisanim i zdrobljenim partijama rudnih žica i postepeno opadaju sa udaljenjem od dislokacija.

Promene granita se ogledaju najpre u sericitizaciji feldspata i hloritizaciji biotita, da se sa povećanjem kataklaziranja i milonitizacije povećava intenzitet ovih promena, tako da se u zdrobljenim i milonitisanim partijama pojave prave gline, koje se sastoje (S. Hadži-Popović) od mešavina ili skoro monomineralnih kaolinita — sericita — hidromuskovita — ilita — montmorionita, u koje su uvaljena zrna zdrobljenih sastojaka granita Ove promene prati piritizacija koja dostiže u jako zdrobljenim partijama sadržaj i do 10% pirita Pored toga mestimično se zapaža silifikacija, karbonitizacija i oko bogatijih delova orudnjenja intenzivna hematitizacija. Često je hematitizacija vezana za najmlađa kretanja u ciklusu obrazovanja orudnjenja, jer se javlja po glinenim ogledalima salbandi rudnih žica. Izgleda da intenzitet pirititizacije stoji u vezi sa koncentracijom urana, bar na osnovu dosada izvršenih ispitivanja. Ova zapažanja treba još proveriti posmatranjima u dubljim partijama rudnih žica, jer su rudarski radovi tek sad ušli u mezotermalno područje orudnjenja.

LITERATURA

1) Anđelković M., 1958: Geološki sastav i tektonika jugozapadnih padina Stare planine. Posebno izdanje odeljenja Prir. mat. nauka SAN.
2) Antonović A., 1958: Neka pitanja odnosa permskih i karbonskih tvorevina u građi Stare planine. Vesnik Zavoda za geol. i geof. istr.
3) Bončev S., 1910: Glavnii linii ot geologičnija strož (naprava) na zapadnata Stara Planina. Trudove na Blg. Prir. D. vo kn. IV.
4) Bončev S., 1923: Geologija na Timočkata okrainina. Trudove na Blg. Prir. D. vo kn. X.
5) Bončev E., 1936: Beitrag zur Frage der tektonischen Verbindung zwischen Karpathen und der Balkaniden. Geologica Balkanica Jahr. II H. 2. s. 69 — 84.
6) Bončev E., 1938: Untersuchungen über die Tektonischen Beziehungen zwichen den Südkarpathen und Stara Planina. Geologica Balkanica Vol. III pars., 1.
7) Bončev E., 1950: Geologija na Blgarija. I.
8) Veselinović D., 1952: Geologija i tektonika oblasti između Vratarnice i Malog izvora. Zb. rad. geol. Inst. »J. Žujović«, knj. IV.
9) Cvijić J., 1904: Die Tektonik der Balkanhalbinsel. L. C. R. II Kongr. Int. geol. Wien.
10) Kober L., 1952: Glavne tektonske crte Jugoslavije. Posebno izdanje SAN, Geol. inst., knj. 3.
11) Magakljan I. G.: Osnov metallogenii metarikov, Erevan. Metallogeničeskaja karta mira, Erevan.
12) Pantić N., Protić M., 1960: Flora donjeg trijasa (šarenog peščara) na Staroj planini. Geološki anali Balk. pol., knj. XXVII.
13) Petković V., 1930: O tektonskom sklopu istočne Srbije. Glas. Srp. akad. nauka CXL.
14) Petković V., 1935: Geologija istočne Srbije. Posebno izdanje Srp. akad. nauka, knj. I.
15) Petković K., Veselinović D., Đokić V., 1958: Ugljeni rudnik Vrška Čuka — monografska studija geološkog sastava i tektonskih odnosa. Posebno izdanje SAN, knj. 23.
16) Palović S., Ristić M., 1962: Petrološka, geohemijska i tektonska proučavanja nekih granitoida

Jugoslavije i karakter njihove metalogenije (referat na V savetovanju geologa FNRJ, Beograd.)
17) Pelimskij A. G., Kašpirov N. S., 1962: O priuročenosti uranovoga orudnenija v gidrotermal'nih žilah k piritsoderžaščim porodam. Geol. rudn. mestor. No 4.
18) Protić M., 1954: Geološki sastav i tektonika Stare planine. Rasprave Geol, inst. Jugoslavije.
19) Ristić M., 1956: Uranium and thorium Deposits in Yugoslavia (Internat. Conf. Peac. Use of Atom, Energy. Proc. P., 640; Ženeva.)
20) Sikošek B., 1956: Geologija i tektonika oblasti između Malog izvora i Kadibogaza. Zbor. rad. G. I. »J. Žujović«, knj. IV.
21) Sikošek B., 1957: Neka geološka zapažanja u istočnom delu istočne Srbije. Zbornik rad. Geol. inst. »J. Žujović«, knj. VIII.
22) Tomić J., 1934: Bazične stene i zeleni kristalasti škriljci Stare planine. Glasnik Srp. kralj. akademije.
23) Tomić J., 1935: Gnajsevi i graniti Stare planine. Vesnik Geol. instituta Kr. Jug., knj. IV, sv. 1.

SUMMARY

GENETIC AND STRUCTURAL TYPES OF RADIOACTIVE MINERALIZATION AT STARA PLANINA

MILAN RISTIĆ, Institute for Nuclear Raw Materials,
Beograd

The investigated area of Stara Planina is located in the Eastern Serbia at the Yugoslav-Bulgarian border. The anticlinorium of Stara Planina as a geotectonic unit represents a part of the Carpatho-Balcanian Arc. The structure itself could be traced back as early as the Sudetian phase of the Hertzian Orogenesis. During the Alpine Orogenesis, this anticlinorium was flexuraly bent and afterwards imbricately overtrusted over the Miničevo—Kadibogaz syncline.

Petrographicaly, this area includes a large variety of rock types, starting from the pre-Cambrian and up to the Neogene age. Together with crystaline schists, gabrros, diabazes, lamprophyres, granites and quartz porphyres, the mezozoic and tertiary sediments are also well developed.

The granites are of particular interest due to the fact that the largest number of radioactive and other mineralizations are connected directly with them. This is particulary true for the granitic massif of Janja.

The metalogeny of Stara Planina is characterized, if we omit those of uranium, by the absence of the mineral deposits and by the small number of types. Most of them could be included into the segregational Fe-Ti or Cr type. All other non-radioactive mineralizations have been formed during the middle-Hertzian phase and are represented by the pyrite-chalcopyrite, pyrite-chalcopyrite-molybdenium, galena-sphalerite and the pyrite-galena-sphalerite-bismuth types.

The radioactive mineralizations include seven types: magmatic (with uranothorianite), pegmatite (with uraninite), pyrometasomatic (with uranite and uranothorianite, allanite, uraninite and chalcopyrite, and molybdenite), hydrothermal, uranium black marine shales, uraniferous coals and the infiltration type, but only the hydrothermal type is significant from the mineral deposit standpoint.

Hydrothermal mineralizations are located only in granites and in two areas. The larger area with the economicaly important mineralizations is located in the granitic massif of Janja and the smaller area with the mineralizations of the low economic value, which is located in the granite and the microgranite of Aldinac. All those mineralizations have been formed during the Middle-Alpine phase.

The majority of the mineralized tectonic zones have the general direction NW — SE with the dip into the NE or SW quadrants. The thickness of those zones and brecciated and crushed parts in the massif of Janja is 50 or more meters and their lenght is several kilometers. The present investigations have shown that the economicaly important are only the mineralizations which are extending deeply into the cruched and cataclyzed granites (up to several hundred meters from the present surface of granites). Those are the brecciated cavity fillings, which were formed during the repeated regeneration of the cavities and fractures in the Middle-Alpine phase.

The uranium mineralization is represented by the pitchblende, which rarely occurs in the form of the veinlets but more often in the form of grains or impregnations in the sericited felspar, shalcedony, pyrite and limonite. The other metalic minerals occur only in trace quantities. The gangue minerals are quartz, chalcedony, calcite, dolomite and strontianite. The paragenesis of such mineralization could be the following: pyrhotite, pyrite I (idiomorphic), quartz, arsenopyrite, pyrite II, pitchblende, shalcopyrite, galena, barite, strontianite and dolomite.

In addition to these minerals, for which the order of formation has been generaly established, there are also the small quanties of magnetite, arsenopyrite, tetraedrite, sphalerite, galena and the small inclusions which have the resemblance of the minerals of bismuth, nickel and cobalt.

The fracture fillings are accompanied by the argillaceous salbands which are composed of sericite, kaolinite, illite, montmorillonite and the myonitized parts of granite. The parts of the country rock close to the mineralized zones were higly hydrotermaly alterated, sericitized, kaolinitized, silified and hematized. On the surface the mineralized zones are accompanied by the broad areas of the primary epythermaly and hydrothermaly diffused uranium.

The main features which control the mineralization are the the thickness of the mineralized zones, or the degree of the myonitization and sericitization, and the lithology of the country rock. The parts of the fractures which cross the basic rocks are practicaly without mineralization.

It is supposed that the uranium mineralization has been formed from the alcaline-carbonate solutions, connected with the regenerated magmatic reservoir inside an allready formed granitic pluton. Uranium from the depth has been washed out by the hydrothermal solutions which have contained the hydroxides of potassium and sodium. Pyrite, which has been deposited at the walls, was, together with the other minerals, the source of the electric currents, which helped the process of dissolution, oxidation and removal of uranium and other components of the rocks and their deposition inside the fractures. The plagioclases and the other minerals with Ca and Mg have reduced the solubility of uranate and induced the deposition of uranium. During this process the galvanic currents formed by the pyrite and other minerals have shifted the equilibrium of the mineral-bearing solutions and have also helped in the deposition of the pitchblende.

GAVRILO DELEON
ZVONKO ČERVENJAK

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

APSOLUTNA GEOLOŠKA STAROST URANSKE MINERALIZACIJE NA STAROJ PLANINI

Određena je apsolutna geološka starost nekoliko uzoraka pehblende iz ležišta na Staroj planini. Ruda je prilično sitnozrna i intimno izmešana s galenitom, te je sa te strane prilično nepogodna za analizu. Zbog toga je pre uzimanja u rad svaka proba intenzivno trljana sa kristalnim jodom u cilju odstranjivanja galenita i drugih sulfida. Analiza tako odvojenog olova pokazuje da je učešće neradiogenog (rudnog) olova u rudi veoma značajno ali krajnje neravnomerno. Isto tako utvrđeno je da je gubitak urana u toku ovog procesa sa jodom veoma neznatan, a usled toga ni gubitak radiogenog olova ne može da bude od značaja. Izotopne analize radiogenog olova pokazuju još uvek izvesnu količinu običnog (rudnog) olova, tako da je nužna pouzdana korekcija. Ukazuje se da je pravilan izvor osnove za korekciju od značaja na starosne rezultate pošto se na njima direktno odražava. Izrazite razlike u odnosu Pb^{207}/Pb^{206} u zaostalom olovu posle korekcije daju osnova za pretpostavku da je tokom reakcije sa jodom došlo u izvesnoj meri do preferencijalnog ispiranja izotopa Pb^{207}. Ova pojedinost zahteva detaljnije proučavanje i dalju eksperimentalnu potvrdu.

Utvrđena starost je diskordantnog tipa. Raspored starosnih odnosa je uobičajen za ovu mineralnu vrstu. Realna starost se ceni na 190 ± 10 miliona godina. Smatra se da gubitak radona iznosi najverovatnije oko 5%.

Od pre nekoliko godina poznato je postojanje relativno jednostavne uranske mineralizacije u granitima na Staroj planini. Do sada je ona detaljno izučena, a rezultati su objavljeni u različitim vidovima u više navrata (M. Ristić i dr. 1957; M. Ristić i dr. 1961). Radi se o jednom hidrotermalnom orudnjenju u granitima janjskog masiva na Staroj planini. Od primarnih uranovih minerala javlja se pehblenda, iako su mestimično utvrđeni i drugi radioaktivni minerali, ali podređenog značaja. Orudnjenje je žičnog i impregnacionog tipa, a ruda se javlja intimno izmešana sa silikatnim mineralima.

Ovde se iznose prvi rezultati određivanja apsolutne geološke starosti ove uranske pojave dobijeni na osnovu izotopske analize.

Nedavno su objavljeni rezultati rendgenostrukturnog proučavanja ovih minerala (Deleon i dr., 1961). Tom prilikom utvrđene su osnovne karakteristike ispitivanog uranovog oksida na osnovu kojih je klasifikovan kao pehblenda. Veće razlike u veličini elementarne ćelije objašnjene su kao rezultat dejstva okludovanog kiseonika u međuprostorima aglomerata ovog minerala.

Jedna od prvih poteškoća pri određivanju starosti uzoraka iz ove lokalnosti predstavljao je sitnozrni karakter same rude, odnosno mineralizacije. On je praktično onemogućio dobijanje apsolutno čistog monomineralnog koncentrata ovog minerala pogodnog za starosna određivanja, ne samo zbog veličine zrna, koja su retko prelazila desetak mikrona, već i zbog intimnog srastanja sa silikatima i drugim mineralima.

Drugi, još teži problem javio se u izvesnoj promenljivoj količini opšte prisutnog galenita u rudi, najčešće između sićušnih zrna pehblende i njegovom aglomeratu ili čak i u pukotinama samih zrna (sl. 1). Zbog toga, ni najpažljivijim drobljenjem uzoraka ni veoma detaljnim i višestepenim odvajanjem, pa čak ni ručnim prebira-



Sl. 1 — Intimno prorastanje galenita kroz pehblendu

Fig. 1 — Intimate intergrowth of galena with pitchblende

njem nije moglo da se ostvari zadovoljavajuće međusobno odvajanje ova dva minerala. Ovome je naročito pogodovala krtost galenita.

Na raspolaganju nam je stajalo 5 uzoraka pehblende iz ove mineralizacije, od kojih je samo jedan bio slobodan od silikatnih primesa dok su ostali uvek sadržavali izvesnu manju količinu istih. Galenit je, međutim, bio prisutan u svim koncentratima.

Određivanje starosti je vršeno na osnovu izotopskog odnosa radiogenog olova u ispitivanoj pehblendi, a po opštoj formuli:

$$N = N_o(e^{\lambda t} - 1) \qquad (1)$$

ili direktnije po jednoj od sledećih formula:

$$Pb^{206} = U^{238}(e^{\lambda' t} - 1) \qquad (2)$$

$$Pb^{207} = U^{235}(e^{\lambda'' t} - 1) \qquad (3)$$

$$Pb^{208} = Th^{232}(e^{\lambda''' t} - 1) \qquad (4)$$

gde Pb^{206}, Pb^{207} i Pb^{208} predstavljaju broj atoma odgovarajućih izotopa, a λ', λ'' i λ''' dezintegracione konstante U^{238}, U^{235} i Th^{232}; t je starost minerala u godinama.

Imajući u vidu ove tri osnovne formule može se kombinacijom jednačine (2) i (3) dobiti i novi odnos:

$$\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}} = \frac{U^{235}}{U^{238}}\left(\frac{e^{\lambda'' t} - 1}{e^{\lambda' t} - 1}\right)$$

S obzirom da je odnos U^{235}/U^{238} u prirodi konstantan i iznosi 1/137,8 očigledno je da se starost po ovoj formuli može odrediti i bez poznavanja sadržaja radioaktivnog elementa u mineralu, već samo na osnovu izotopskog odnosa ekstrahovanog radiogenog olova.

Pošto je izotopski sastav običnog olova, sa izuzetkom izotopa 204, identičan sa onim radiogenog porekla, neophodno je bilo rešiti problem kvantitativnog odvajanja galenita od pehblende u cilju uspešnog određivanja starosti. Ovaj problem je rešen na principu stvaranja rastvornog Pb_2J u dodiru PbS sa kristalnim jodom (A. Tugarinov i dr., 1957). Tako oslobođeni koncentrat tretiran je normalno kao uzorak pehblende, s tim što je uvek vršena korekcija zbog postojanja nerastvornog ostatka.

EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

U staklenom sudu, tučkom pogodnog oblika i veličine 0,3 gr prečišćenog koncentrata uzorka pehblende i 0,5 gr kristalnog joda (resublimatum) meša se intenzivno oko 30 minuta. Jod reaguje sa prisutnim galenitom stvarajući olovo-jodid i sumpor po jednačini:

$$PbS + J_2 \rightarrow PbJ_2 + S$$

Dobijeni PbJ_2 i J_2 su lako rastvorni u 20% KJ, zbog čega se prenese ceo sadržaj mešavine u čašu uz dodatak od oko 10 ml ovog rastvora KJ, dok se oslobođeni sumpor zadržava na površini, a pehblenda na dnu. Centrifugiranjem ovog rastvora ona se lako može odvojiti, čime se dobija uglavnom prečišćeni monomineralni koncentrat pehblende. Ovaj se više puta propira rastvorom KJ u cilju prevođenja u rastvor i poslednjih tragova olova. U cilju što potpunijeg i sigurnijeg oslobađanja od galenita ceo postupak se obično ponavlja dva puta.

Ostatak uzorka, koji je sadržavao samo pehblendu i mali procenat silikatnih minerala, razlagan je u koncentrovanoj HNO_3. Rastvorni deo je otfiltrovan, a nerastvorni ispran, osušen i izmeren na vagi. Polazna količina supstance korigovana je za težinu suvog, nerastvornog ostatka, kao i količina običnog olova.

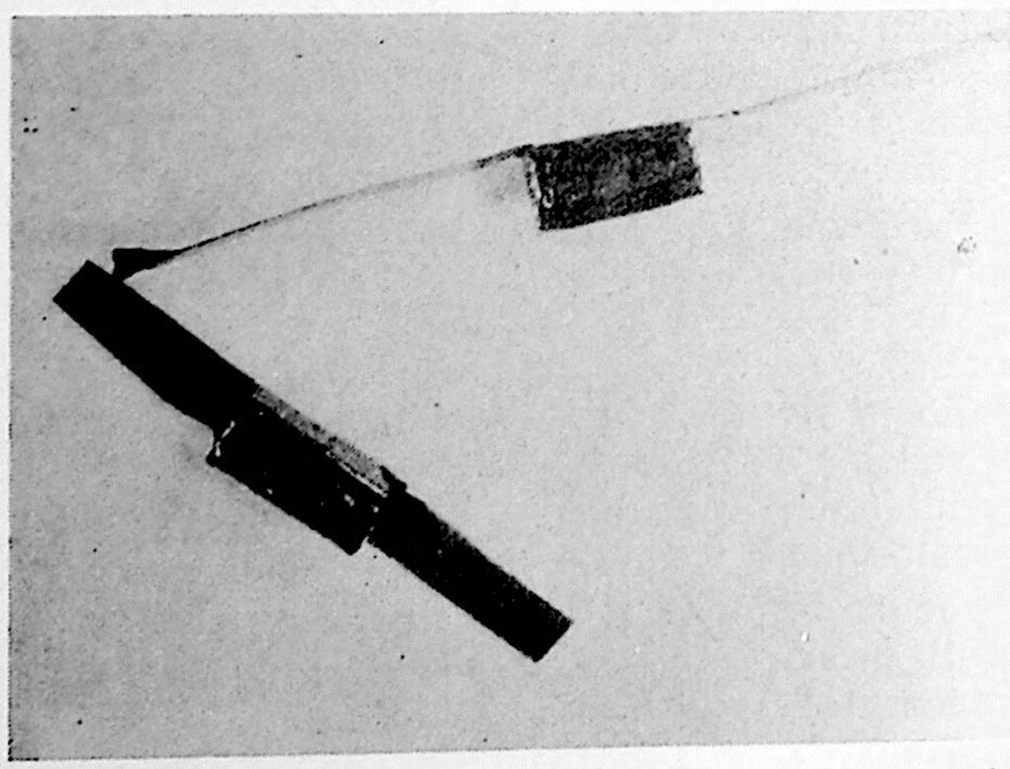
Određivanje neradiogenog olova u rastvoru KJ vršeno je ekstrakcijom pomoću ditizona, ili u obliku $PbSO_4$ (G. Ivantscheff, 1958; F.Q. Tredvel, 1952).

Određivanje radiogenog olova u rastvoru HNO_3 vršeno je, takođe, u obliku $PbSO_4$.

Određivanje urana vršeno je fluorimetrijskom analizom ili gravimetrijski u obliku amonijumdiuranata (C. J. Rodden, 1950).

Određivanje torijuma izvršeno je radiometrijskom analizom ili spektrofotometrijskim putem.

Izotopska analiza dobijenog PbS, kako iz radiogenog dela olova tako i neradiogenog, vršena je na masenom spektrometru MS—5, Nier-ovog tipa (ugao 60°, poluprečnik krivine 15 cm, rezolucija oko 1:350) sa kolektorom. Analiza je izvršena sa izvorom za čvrste supstance metodom pećice. Ona je prikazana na sl. 2. Njena veličina dozvoljavala je analizu do 3 miligrama materijala i manje, što je i bio slučaj u nekim našim probama. Tako je merenje vršeno i sa svega 1 miligramom PbS,



Sl. 2 — Pećica od tantala primenjena u ovom radu

Fig. 2 — Applied tantalum furnace of the jon source

s tim što je u takvim slučajevima dužina emisije jona bila znatno kraća. Jonizovani molekulski fluks ubrzavan je u elektrostatičkom polju od 1800 V. Registracija jonskih struja vršena je na Leeds & Northrup-ovom SPEEDOMAX rekorderu. Spektar je sniman sukcesivno nekoliko desetina puta, a rezultati predstavljaju srednje vrednosti ovih merenja.

DISKUSIJA REZULTATA

U tabl. 1 prikazani su rezultati hemijskih analiza uzoraka na U, Th, Pb, kao i izotopski sadržaj radiogenog olova iz njih.

U tabl. 2 prikazan je procentualni gubitak U i izotopski sadržaj neradiogenog dela olova odvojenog istiranjem sa kristalnim jodom.

Tabl. 1 *Table 1*

Lokalnost	№ uzor	%			% Radiog. Pb	% Nerad. Pb	Izotopski sadržaj (%)			
		U	Th	Pb			204	206	207	208
Mezdreja	49469	81.8		10.20	2.40	7.80	0.172	85.81	7.21	6.78
Mezdreja	49470	81.0	0.17	3.91	2.31	1.60	0.136	87.29	6.89	5.62
Mezdreja	48851	81.6		3.07	2.37	0.70	0.187	85.15	7.30	7.55
Mezdreja	48855	73.6		3.11	2.20	0.91	0.19	86.80	7.02	5.85

Tabl. 2 *Table 2*

Lokalnost	№ uzor.	Procentualni gubitak U	Izotopski sadržaj neradiogenog dela Pb			
			204	206	207	208
Mezdreja	49469	0.13				
Mezdreja	49470	0.27	1.04	44.05	17.55	37.42
Mezdreja	48851	0.40	1.07	43.32	17.30	38.43
Mezdreja	48855	0.73				

Kako se vidi iz navedenih podataka učešće neradiogenog dela u uzorku je stalno i veoma značajno, iako varira sa uzorkom.

Hemijske i izotopske analize pokazuju da u analiziranim uzorcima postoje dve vrste neradiogenog olova: prva, mineraloški izražena u vidu galenita, koja čini najveći deo ukupno prisutnog, i druga, koja nije individualisana ili je to u vidu submikroskopskog galenita, za šta još uvek ne postoje potpuno sigurni dokazi. Ova poslednja vrsta izdvaja se zajedno sa radiogenim olovom. Iako je ovaj deo uvek bio prilično neznatan u odnosu na mineraloški individualisano olovo, ipak je njegovo učešće predstavljalo 10 — 15% ukupne količine radiogenog olova. Prema tome, potencijalna greška koja bi mogla da utiče na starost iz ovog razloga bila bi takvog reda veličine ukoliko se ne bi vršila nužna korekcija.

Interesantno je da uzorak No. 49469, koji predstavlja najkrupniji agregat pehblende, sadrži najznačajniji procenat ovog olova. Na sl. 1, koja predstavlja ovaj uzorak, može se videti da je učešće galenita i u ovom agregatu takođe vezano samo za međuprostore, odnosno kontaktne površine ovih zrna ili pukotinice u njima.

Iz priloženih podataka u tabl. 2 vidi se da je maksimalni gubitak U u toku istiranja sa kristalnim jodom iznosio 0.73 %, a da se kretao u intervalu od 0.13 — 0.73 %. Ovi podaci nedvosmisleno pokazuju da je greška, koja nastaje u toku ovog procesa, praktično zanemarljiva, pošto ne predstavlja ni 1% ukupnog sadržaja urana u uzorku te ne može da ima ozbiljnijeg odraza na apsolutnu starost minerala. Isto tako, s pravom može da se smatra da gubitak koji nastaje u toku ovog postupka jedva može da dovede do većeg odstupanja od stvarnog rezultata od onog koji izaziva eksperimentalna greška u toku izotopske analize.

Gubitak torijuma u toku procesa nije praćen. Međutim, on ne može da igra nikakvu ozbiljniju ulogu zbog veoma niskog ukupnog sadržaja ovog elementa u mineralu.

Preračunavanje izotopske analize olova ekstrahovanog trljanjem sa kristalnim jodom ukazuje na jednu interesantnu pojedinost. Pošto je prilikom procesa došlo do veoma ograničenog razlaganja pehblende preuzeta je i izvesna količina radiogenog olova i uneta u već postojeći galenit stvarajući prividno anomalno olovo, tj. galenit sa anomalnim izotopskim sastavom. Uzimajući kao osnov korekcije galenit iz pojave u neposrednoj blizini radioaktivnog orudnjenja utvrđeno je da izotopski odnos 207/206 zaostalog olova posle korekcije u različitim uzorcima nije jednak i da varira čak i do tri puta. Ovaj podatak ukazuje na mogućnost preferencijalnog ispiranja pojedinih izotopa (u ovom slučaju Pb^{207}) u toku tretiranja sa kristalnim jodom. Nesumnjivo je da ova pojedinost traži još detaljnije razmatranje i višestruku eksperimentalnu potvrdu pre donošenja definitivne procene o mogućnostima i razmerama ovakvog obogaćivanja pojedinih izotopa.

U cilju utvrđivanja uticaja izbora galenita (ili nekog drugog izvora neradiogenog olova) pri korekciji na prisustvo neradiogenog olova u radiogenom korekciju smo izvršili po dva osnova: galenita iz Kučajne i onog sa Stare planine. Ova poređenja su od prilične važnosti pošto nije uvek moguće

doći do potpuno odgovarajućeg materijala za vršenje korekcije. To je naročito bio slučaj na Staroj planini gde u oblasti uranske mineralizacije u prvo vreme nije bio pronađen kompaktan i homogeni mineral olova pogodan za izotopsku analizu. Istovremeno, ekstrakcija olova iz stena u području mineralizacije ili njegove neposredne okoline nije bila moguća, pošto je poznato da je ovde došlo do veoma intenzivnog impregnisanja stene, kako lako mobilnim radioaktivnim elementima — uranom i torijumom, tako isto i olovom, zbog čega njegov izotopski sadržaj ne bi bio reprezentativan za »rudno olovo« ove oblasti.

Zbog svega toga uzet je galenit iz Kučajne kao geografski najbliži olovni mineral kojim smo raspolagali u datom trenutku. Nekoliko meseci kasnije, pošto je bio pronađen i analiziran galenit iz blizine same mineralizacije, izvršena je ponovna korekcija na osnovu njegovog izotopskog sadržaja, koji je bio pouzdana potvrda da se nije radilo o »anomalnom« izvoru nastalom mešanjem više tipova ovog elementa različitog porekla. U tabl. 3 i 4 prikazani su uporedo rezultati određivanja apsolutne starosti četiri analizirana uzorka pehblende iz ove lokalnosti dobijene uz korekciju pomenutog olova po oba osnova.

Tabl. 3 — Starost uzoraka pehblende sa korekcijom na osnovu galenita sa Stare planine

Lokalnost	No. uzor.	Starost (u mil. god.)			
		206/238	207/235	208/232	207/206
Mezdreja	48851	181	191		275
Mezdreja	48855	186	180		105
Mezdreja	49469	181	197		397
Mezdreja	49470	181	202	82	453

Tabl. 4 — Starost uzoraka pehblende sa korekcijom na osnovu galenita iz Kučajne

Lokalnost	No. uzor.	Starost (u mil. god.)			
		206/238	207/235	208/232	207/206
Mezdreja	48851	173	226		462
Mezdreja	48855	184	180		121
Mezdreja	49469	186	202		395
Mezdreja	49470	186	203		465

Iz prikazanih rezultata jasno proizlazi kakav uticaj ima pravilan izbor materijala za korekciju neradiogenog olova. Ovaj uticaj je utoliko presudniji ukoliko raste eksponencijalno sa opadanjem starosti. Tek od oko 800 miliona godina naviše taj uticaj prestaje da igra neku važniju ulogu (J. L. Kulp i dr., 1954). Zbog toga je u ovom konkretnom slučaju ona od velike važnosti. Ovaj isti razlog važi i za najveći broj ostalih minerala pogodnih za određivanje tzv. »olovne izotopske starosti«, pošto najveći deo geološke građe Balkanskog poluostrva spada u kategoriju postkambrijskih tvorevina.

Razlika u rezultatima ukazuje na postojanje izvesnih procesa u toku geološke istorije minerala koji su ih uslovili. Nama se čini da starost određena izotopskim odnosom 207/235 najpribližnije odgovara stvarnoj. To istovremeno znači da je gubitak radona najverovatnije dominirajući proces i da ni gubitak urana kao ni torijuma u toku postojanja minerala nije bio od značaja (J. L. Kulp i dr. 1954; K. Žyrov i dr. 1961).

Danas je još uvek problem tzv. diskordantne starosti, odnosno nepodudarnosti podataka dobijenih na jednom mineralu na osnovu različitih izotopskih odnosa, sigurno jedan od najmanje razrađenih problema u geohronologiji. Iako postoji veoma veliki broj podataka o tom pitanju, kao i obilje pretpostavki, još uvek su kriterijumi za ocenu procesa, koji su izazvali nepodudarnost starosnih rezultata, dosta nesigurni. Oni zadiru u čitav niz geohemijskih procesa koji su se u većini slučajeva kombinovali u različitom obimu, intenzitetu i vremenu, tako da je nekad teško sa sigurnošću odrediti koji je od njih imao odlučujuću ulogu. Ovde imamo u vidu prvenstveno procese ispiranja urana, torijuma i njihovih radiogenih proizvoda egzo ili endogenim rastvorima, pa čak i delimično preferncijalno ispiranje pojedinih izotopa, s jedne strane, i moguće unošenje, odnosno mešanje ovih elemenata u toku sličnih procesa koji vode poreklo iz različitih izvora, s druge.

Iz dosad izloženih podataka vidi se da starosna raspodela u ovom slučaju odgovara već vrlo dobro poznatoj šemi za ovu mineralnu vrstu (J. L. Kulp i dr., 1957):

$$t_{\frac{207}{206}} > t_{\frac{207}{235}} > t_{\frac{206}{238}} > t_{\frac{208}{232}}$$

Ona nam ukazuje na nekoliko važnih činjenica:

a) da je gubitak radona dominirajući proces;

b) da gubitak radona iznosi najverovatnije oko 5 %, a nikako ne prelazi 10 %;

c) da ograničen gubitak radona ukazuje da je mineralizacija stalno bila na relativno niskoj temperaturi, što znači da povlata nad njom nikad nije bila naročito značajna.

Što se tiče starosti iz odnosa 208/232, koja je najniža od svih navedenih, smatra se da je normalna imajući u vidu nizak sadržaj torijuma u mineralu. To je još jedna potvrda da minerali sa sadržajem torijuma ispod 1% daju uvek nižu starost od svih ostalih odnosa. Glavni uzrok ovoj pojavi ne treba tražiti prvenstveno ili isključivo u povećanoj analitičkoj greški usled niskog sadržaja torijuma, već pre svega u prinosu radiogenog olova u ležištu. Ovaj uticaj je naročito izrazit kod mlađih minerala, gde može da dostigne razliku i od nekoliko puta, ali uvek u pravcu sniženja apsolutne starosti.

ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetih rezultata kao i na osnovu do sada objavljene literature o geološkim odnosima u delu Stare planine, gde se javlja uranska mineralizacija, smatramo da starost orudnjenja

iznosi oko 190 ± 10 miliona godina, te da prema tome pripada gornjem trijasu (A. Holmes, 1960; C. F. Davidson, 1959; J. L. Kulp, 1961; N. Polevaja, 1961). Iako do danas nije urađena ni jedna »izotopska starost« na nekom drugom mineralu iz stena — nosioca ove mineralizacije, gde su starosni podaci zasnovani isključivo na tzv. ukupnom olovu u cirkonima iz granita, smatra se da starost stena u kojima se ona javlja dostiže cifru od maksimum 350 miliona godina. To, drugim rečima, znači da je geološka jedinica u kojoj se javlja mineralizacija vezana za hercinsku orogenezu tokom karbona, dok je do stvaranja same mineralizacije došlo krajem trijasa, odnosno na granici između jure i trijasa, u toku kimerijske faze. Na taj način, mineralizaciju odvaja od granitske magmatske faze, ceo orogenetski ciklus. Od interesa bi bilo utvrditi nije li ovoj hidrotermalnoj akciji prethodila neka mlađa magmatska aktivnost od one koja je već utvrđena, a čiji bi intenzitet bio daleko podređeniji.

*

Na kraju se zahvaljujemo G. Martinović, fizikohemičarki, na izvođenju spektrofometrijskih analiza torijuma i tehničarima Z. Červenjak, M. Dobovišek, G. Šolajiću i Nj. Popoviću za pomoć u toku izrade ovog rada.

LITERATURA

1) Černyšev I. V., 1962: Analiz ošibok svincovogo metoda opredelenija absoljutnogo vozrasta. Geohimija, 1, 73—81.
2) Černyšev I. V., 1962: Nomogrammy dlja vyčislenija ošibok opredelenija absoljutnogo vozrasta svyncovim metodom. Geohimija, 3, 271—279.
3) Davidson C. F., 1959: The geochronological time-scale. Nature, 184, 4697, suppl. 19, 1473.
4) Deleon G., Vukasović M., 1961: Rentgenostrukturno ispitivanje nekih uraninita iz jugoslovenskih nalazišta. Radovi Sektora za istraživanje nukl. i drugih sirovina Zavoda za nukl. sirovine, 1, 1.
5) Deleon G., Lovrić A., Červenjak Z., 1962: Neki podaci o apsolutnoj starosti granitoidnih stena i s njima povezanim mineralizacijama u okviru karpatsko-balkanskog luka. V savetovanje geologa FNRJ, Beograd, oktobar 1962.
6) Holmes A., 1960: A revised geochronological time-scale. Trans. Edinb. Geol. Soc. 17, 3, 183—216.
7) Ivantscheff G., 1958: Das Dithison und seine Anwendung in der Mikro und Spurenanalyse. Verlag Chemie, GMBH, Weinhein.
8) Kulp J. L., 1960: The geological time-scale. Report of XXL Intern. Geol. Congress Norden, part III, 18—27.
9) Kulp J. L., Bate G., Broeker W., 1954: Present status of the lead method of age determination. Amer. J. of Science, 252, 345—365.
10) Kulp J. L., Eckelmann W. R., 1957: Discordant U-Pb ages and mineral type. Amer. Mineralogist, 42, 3/4, 154—165.
11) Muratov M. V., 1962: Istorija tektoničeskogo razvitija alpiskoj skladčatoj oblasti Jugo-Vostočnoj Evropy i Maloj Azii. Izv. AN SSSR, ser. geol. 2, 3—24.
12) Polevaja N. I., 1961: Škala absoljutnoj geohronologii po glaukonitam. Voprosy geohronologii i geologii Trudy laboratorii geologii dokembrija, 12. Izd. AN SSSR, Moskva.
13) Ristic M., Pantić R., 1957: Radioaktivne pojave Stare planine. Fond stručne dokumentacije Zavoda za nukleame sirovine.
14) Ristić M., Sikošek B., Divljan S., 1961: Geološko-tektonski odnosi, magmatizam i metalogenija Stare planine. Kongres karpatsko-balkanske asocijacije, Bukurešt.
15) Rodden C. J., 1950: Analytical chemistry of the Manhattan Project. McGraw Hill Book Co., New York.
16) Tredvel F. P., 1952: Kvantitativna hemijska analiza. Naučna knjiga, Beograd.
17) Tugarinov A. I., Orleva L. P., Zykov S. P., Čupahin M. S., 1957: O formah nahoždenija svinca v uranovoj smolke v svijazi s opredelenijem absoljutnogo vozrasta mineralov. Trudy IV Sessii komissii po opredeleniju absoljutnogo vozrasta geol. formacijah. Izd. AN SSSR.
18) Žirov K. K., Šestakov G. I., Ivanov I. B., 1961: K voprosy ob interpretacii cifr vozrasta po svincovomu metodu. Geohimija, 1, 49—55.

SUMMARY

THE ABSOLUTE AGE DETERMINATION OF URANIUM MINERALIZATION AT STARA PLANINA

GAVRILO DELEON and ZVONKO ČERVENJAK,
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

The ages of several pitchblendes from the Stara Planina mineralization have been dated. The mineral is very fine grained and intimately mixed with galena which for is rather unsuitable for age determination. For this reason, each specimen has been intensively grinded with cristalline iodine for a prolonged period of at least half-an-hour before starting analysis whith the aim of extraction and elimination of galena and other possible sulphides. Analysing the lead extracted in such a way it has been demonstrated that the distribution of the nonradiogenic lead in the material is fairly uneven. The minimal loss of uranium during the process of common lead extraction by iodine indicates extremely limited decomposition of the pitchblende itself, so that the effective loss of radiogenic lead could be neglected. The isotopic analysis of the radiogenic lead indicates still the presence of a small quantity of common lead, so that a correction is necessary. It has been stressed upon the importance of a right choice of the basis for such a correction, which might be a source of significant error. The distinct differences in Pb^{207}/Pb^{206} ratios in remaining lead after the correction, proves evidence of a possible preferential leaching of the isotope Pb^{207} in the course of the extraction by iodine. This fact needs some further and more detailed study and more experimental data.

The pitchblendes reveal discordant ages. The type of discordance is of the well-known pattern for this mineral species: $Pb^{207}/Pb^{206} > Pb^{207}/U^{235} > Pb^{206}/U^{238} > Pb^{208}/Th^{232}$: The real age is estimated to 190 ± 10 my. The loss of radon is not erceeding 10%.

STANISLAV VIŠIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

ISTRAŽIVANJE TORIJUMO-URANONOSNIH ŽIČNIH STENA U PODRUČJU SELEČKE PLANINE PRIMENOM MAGNETSKE METODE

Osim pojava uranove mineralizacije, u oblasti Selečke planine otkriveno je i nekoliko pojava torijumo-uranovog orudnjenja. U okviru geološko-geofizičkih ispitivanja na ovim zadnjim primenjena je i magnetska metoda. Mada se postignuti rezultati odnose na poseban tip orudnjenja, oni ipak ukazuju na potrebu šireg korišćenja magnetske metode pri prospekciji nuklearnih sirovina.

Mogućnosti interpretacije magnetskih podataka nisu iste za sve lokalnosti, mada se ove odlikuju nizom zajedničkih geološko-geofizičkih osobina. U svim slučajevima rudne pojave se nalaze u seriji amfibolskih stena. Vezane su za gnajseve, koji se javljaju u vidu žica i sočiva i konkordantno zaležu unutar pomenute serije. Radioaktivni minerali su u asocijaciji sa feromagnetičnim mineralima — magnetitom, pirhotinom i ilmenitom. Torijumo-uranonosni gnajsevi imaju znatno veći magnetski susceptibilitet od običnih, nemineralizovanih gnajseva. Ukoliko se nalaze u predelu čvrstih amfibolskih stena, onda se vrlo jasno indiciraju primenom magnetske metode. Međutim, ako su okolne stene predstavljene trošnim amfibolskim škriljcima, u kojima su česte pojave aktinolitsko-tremolitskih žica, onda se teško mogu izdvajati na osnovu magnetskih indikacija.

Korišćenjem rezultata magnetskih ispitivanja omogućeno je ne samo otkrivanje i praćenje pojedinih pojava torijumo-uranovog orudnjenja, nego i tačnije tumačenje geološko-strukturnih odnosa u predelu ovih pojava. Kao dopuna ostalim rezultatima ispitivanja, primena magnetske metode u znatnoj meri je doprinela efikasnosti izvođenja odgovarajućih prospekciono-istražnih radova u oblasti Selečke planine.

UVOD

Zadnjih godina magnetska metoda nalazi sve širu primenu i u oblasti istraživanja nuklearnih sirovina u svetu. Ona se kao i neke od ostalih klasičnih geofizičkih metoda uvršćuje u onu grupu metoda koje se efikasno primenjuju pri istraživanjima U i Th (V. I. Krasnikov, 1955). Nova saznanja o uslovima formiranja ležišta radioaktivnih mineralnih sirovina ukazuju da se u nekim slučajevima magnetska ispitivanja mogu uspešno koristiti u cilju njihovog otkrivanja. Pri tome treba uvek imati u vidu da radiometrijske metode u nizu slučajeva ne mogu dati povoljne rezultate, jer se vrlo često ležišta ne manifestuju na površini, niti preko izdanaka, niti posredstvom oreola rasejavanja. Kako se kod nas magnetska metoda nedovoljno koristi pri rešavanju odgovarajućih problema u vezi istraživanja nuklearnih sirovina, potrebno je u najkraćim ortama izneti neke mogućnosti njene primene u ovoj oblasti.

Nekada magnetske indikacije indirektnim putem vode ka ležištima radioaktivnih sirovina. Tada se ova obično nalaze u predelu geoloških formacija koje se po magnetskim osobinama znatno razlikuju od okolnih stena. Ima slučajeva da je uransko orudnjenje vezano za stene, koje se, obzirom na okolne, odlikuju manjim magnetskim susceptibilitetom. Tako, na primer, A. G. Gramakov (1957) opisuje slučaj uspešnog indiciranja granice između uranonosnih slojeva mermera, koji se karakterišu sniženim vrednostima magnetskog polja i okolnih liskunskih škriljaca obogaćenih feromagnetičnim mineralima. Ovo sedimentno-metamorfno orudnjenje praćeno je na taj način kilometrima. Ima, takođe, i obrnutih slučajeva, tj. da se stene nosioci radioaktivnih mineralnih sirovina odlikuju povećanim vrednostima magnetskog susceptibiliteta u odnosu na okolne stene, te se mogu, primenom magnetske metode, izdvajati od susednih formacija.

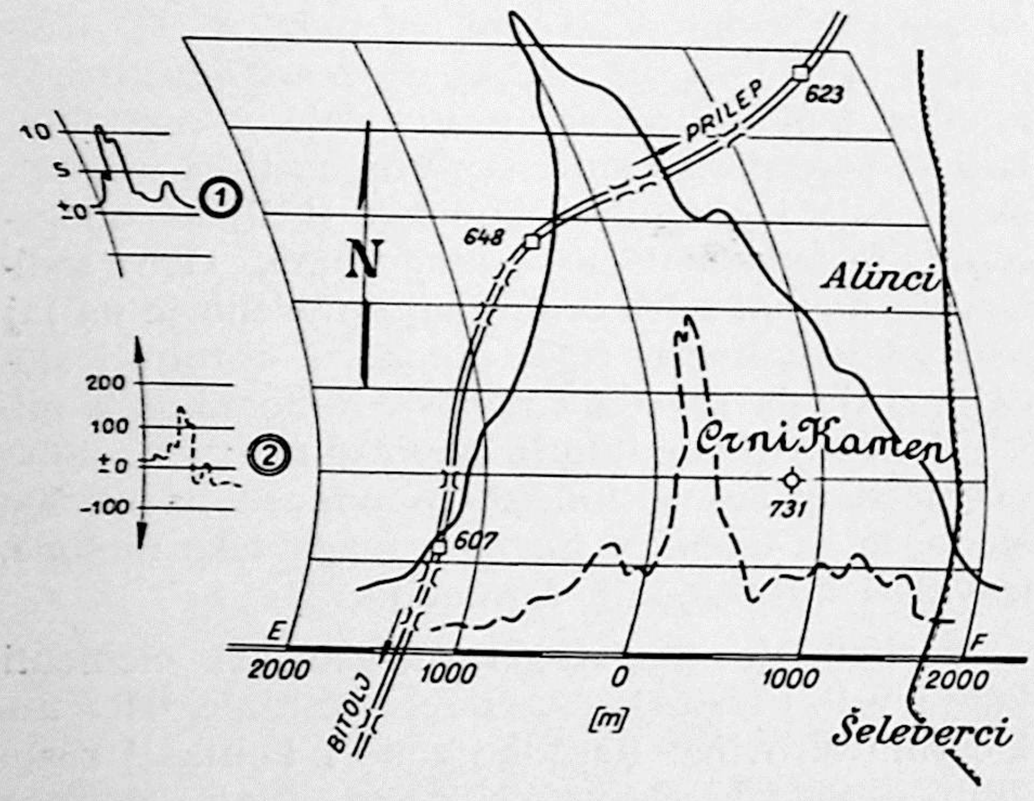
Poznato je da strukturno-geološki elementi imaju veliki značaj u vezi formiranja ležišta nuklearnih sirovina. Rasedne zone i kontakti različitih geoloških formacija često imaju znatnog udela kao kontrolni elementi pri deponovanju radioaktivne rudne supstance. Prema tome, otkrivanje i praćenje tih struktura u nizu slučajeva je ključni problem pri istraživanju ležišta nuklearnih sirovina. Napred pomenuti autor navodi slučaj uspešnog kartiranja tektonskog kontakta granit-metamorfna serija primenom magnetske metode.

Rasedna zona, koja kontroliše uransko orudnjenje i prati pomenuti kontakt, vrlo jasno se indicira vrednostima ΔZ-intenziteta, kada su osnovne metode za prospekciju nuklearnih sirovina neefikasne.

Mnogobrojna ležišta nuklearnih sirovina nalaze se u područjima granitskih masiva i obično su lokalizovana u domenu rasednih zona. Indiciranje ovih predstavlja jedan od glavnih problema pri otkrivanju i istraživanju ležišta u predelu granita. Imajući u vidu da su u nekim slučajevima rasedne zone nosioci kako ležišta radioaktivnih sirovina, tako i bazičnih žica i dajkova, onda se s pravom može očekivati da se ove mogu istraživati primenom magnetske metode. Graniti obično imaju magnetski susceptibilitet oko $8 - 28 \times 10^{-6}$ CGS (C. A. Heiland, 1951) ili oko $8 - 22 \times 10^{-6}$ CGS (T. Nagata, 1953) i sasvim retko dostižu izrazito veće vrednosti. Međutim, bazične žične stene obično imaju znatno veći magnetski susceptibilitet, koji nekada varira u granicama oko $400 - 1.800 \times 10^{-6}$ CGS (C. A. Heiland, 1951). Pod tim uslovima indiciranje uranonosnih struktura u granitima, koje su praćene žicama, sočivima i dajkovima bazičnih stena, veoma je efikasno korišćenjem magnetske metode.

U nekim slučajevima magnetske indikacije su u direktnoj vezi sa orudnjenjem — radioaktivni minerali su u paragenetskoj asocijaciji sa feromagnetičnim mineralima ili je ponekad njihova koncentracija samo u prostornoj vezi sa ovima. Ta okolnost omogućava da se otkriju »slepa« ležišta radioaktivnih mineralnih sirovina, ako se primeni magnetska metoda. A. G. Gramakov (1957) iznosi slučaj efikasne primene magnetske metode pri istraživanju jednog ležišta urana u metamorfnim stenama. Izvođenje radiometrijskih ispitivanja na površini bilo je neefikasno. Međutim, zahvaljujući prisustvu pirhotina u rudi, ova je imala znatno veći magnetski susceptibilitet od okolnih stena, pa su indikacije ΔZ-intenziteta bile vrlo jasne tako da su čak ustanovljene i konture rudnih tela.

U našoj praksi imali smo primer da se feromagnetični minerali (magnetit, pirhotin i ilmenit) javljaju u asocijaciji sa radioaktivnim mineralima, pa su magnetske indikacije u ovom slučaju direktno prouzrokovane mineralizovanim žicama koje su istraživane (sl. 1). Upravo, predmet razmatranja ovog rada, pored napred iznetog ukazivanja na mogućnosti primene magnetske metode, sastoji se u prikazu rezultata magnetskih ispitivanja pri prospekciono-istražnim radovima na pojavama ovog tipa orudnjenja.



Sl. 1 — Krive gama-radioaktivnosti i ΔT-intenziteta (aerogeofizička prospekcija) — Crni Kamen (po M. Petroviću). 1 — kriva gama-radioaktivnosti; 2 — kriva ΔT-intenziteta

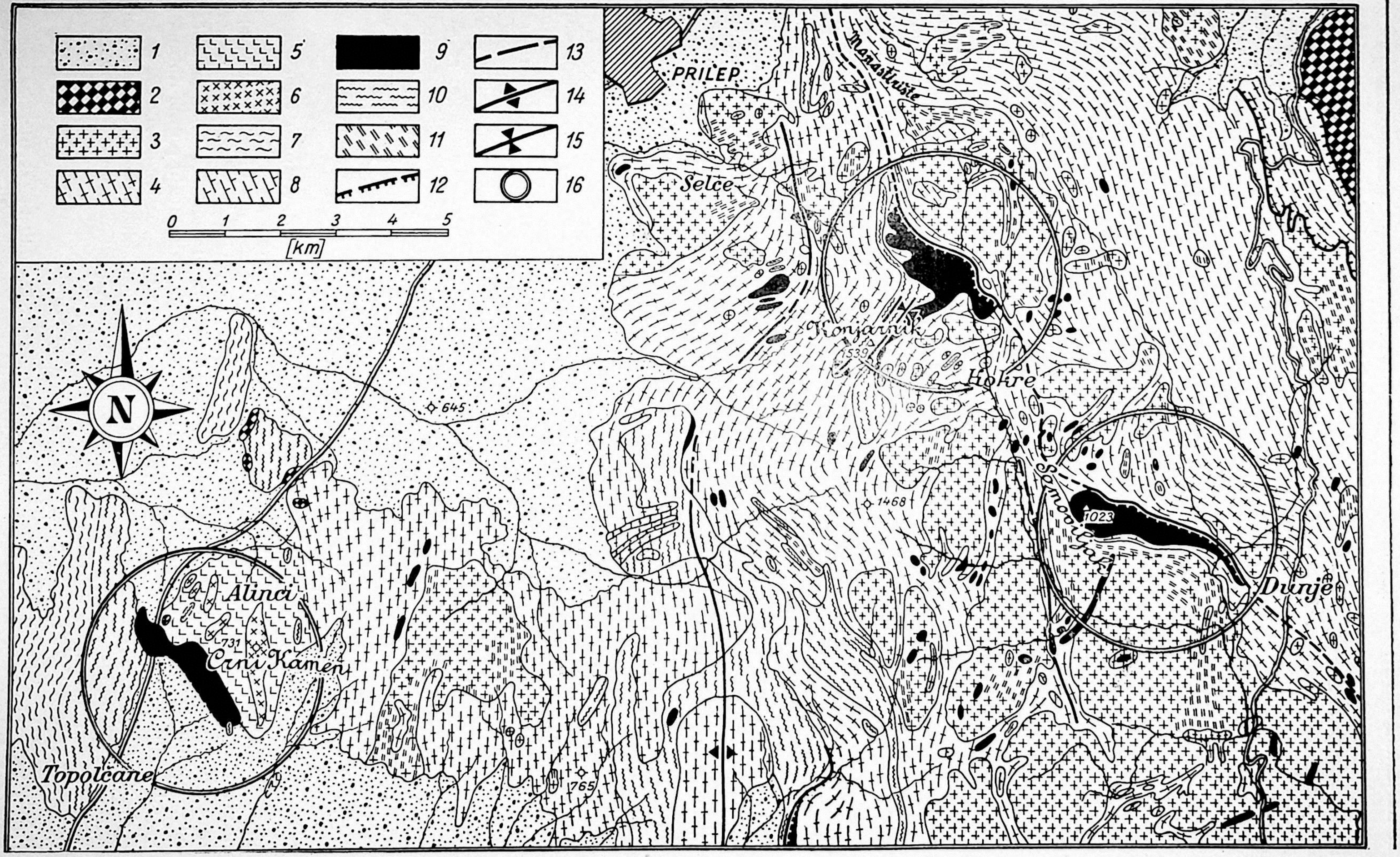
Fig. 1 — Curves of gamma-ray activity and ΔT-intensity (air-borne prospection) — Crni Kamen (after M. Petrović). 1 — curve of gamma-ray activity; 2 — curve of ΔT-intensity

AMFIBOLSKE STENE — NOSIOCI RADIOAKTIVNIH GNAJSEVA

U oblasti Selečke planine registrovan je niz anomalija radioaktivnosti, koje se nalaze u domenu pojavljivanja amfibolskih stena. Upravo usled toga neke lokalnosti, gde se ove nalaze, bile su predmet obimnijih geoloških i geofizičkih ispitivanja u toku nekoliko godina. Da bi se dobila potpunija slika o rezultatima primene magnetske metode u sklopu ostalih rezultata istraživanja, potrebno je izneti najbitnije podatke o amfibolskim stenama i njihovom odnosu prema okolnim geološkim tvorevinama.

Amfibolske stene imaju vidno učešće u grupi metamorfnih stena, koje ulaze u geološki sastav Selečke planine, ali se većinom javljaju u obliku relativno malih, izolovanih partija, razbacanih po celoj oblasti i međusobno znatno udaljenih. Nalaze se kako u predelima mikašista i gnajseva tako i u delovima terena gde su otkriveni graniti i sijeniti (sl. 2). Izrazit diskontinuitet u njihovom pojavljivanju nije prouzrokovan samo načinom postanka ovih stena, već i znatnim uticajem tektonskih poremećaja, kao i visokim stepenom erodovanosti u ovoj oblasti. Usled toga ih sada nalazimo bilo kao partije uklještene u okolnim stenama ili kao krpe malih dimenzija, a ima i slučajeva kada se smenjuju sa mikašistima i gnajsevima i tada se javljaju u vidu vrlo uzanih traka.

Što se tiče njihovog mesta u superpozicionom redu petrografskih članova ove oblasti M. Protić (1958) smatra da »pripadaju gornjim nivoima serije dvoliskunskih gnajseva, s tim da mikašisti delom jasno leže na ovim gnajsevima«. U pogledu načina postanka amfibolskih stena još ne postoji dovoljno činjeničnog materijala da bi se o tome moglo dati konačno mišljenje. Pomenuti autor ukazuje da ukoliko se prihvati mišljenje da su gnajsevi iz ove oblasti para-stene, onda se i amfi-



Sl. 2 — Geološka karta područja Samoviljak — Konjarnik — Crni Kamen (prema podacima geološkog kartiranja 1:25.000 — M. Teofilović, M. Protić i S. Cvetić). 1 — aluvion; 2 — mermer; 3 — granit; 4 — granit-gnajs; 5 — alkalni kvarc-sijenit gnajs; 6 — alkalni sijenit; 7 — filit; 8 — muskovitski gnajs; 9 — amfibolske stene; 10 — mikašist; 11 — dvoliskunski gnajs; 12 — linija navlačenja; 13 — rasedna linija; 14 — osa antiklinale; 15 — osa sinklinale; 16 — lokalnosti gde je primenjena magnetna metoda

Fig. 2 — Geologic map of Samoviljak — Konjarnik — Crni Kamen region (according to data of geologic mapping 1:25.000 — M. Teofilović, M. Protić and S. Cvetić). 1— alluvium; 2 — marble; 3 — granite; 4 — granite-gneiss; 5 — alkali quartz-syenite gneiss; 6 — alkali syenite; 7 — phylite; 8 — muscovite gneiss; 9 — amphibolitic rocks; 10 — micaschist; 11 — mica-gneiss; 12 — line of overthrusting; 13 — fault line; 14 — axis of anticline; 15 — axis of syncline; 16 — localities where magnetic method has been applied

bolske stene »kao ukliještene partije u njima mogu shvatiti kao para-stene«.

Neki predeli gde su izdvojene amfibolske stene odlikuju se kako izrazitom heterogenošću u pogledu petrografskog sastava (amfiboliti, amfibolski gnajsevi, amfibolski škriljci, biotitski gnajsevi, muskovitski gnajsevi, aplitske žice, kvarcne žice, itd.) i čvrstini (čvrste do sasvim trošne), tako i varijabilnošću u pogledu vrednosti magnetskog susceptibiliteta (od nekoliko jedinica do 17.600 $\times$ 10^{-6} CGS) i intenziteta normalnog polja gama-radioaktivnosti (od 2 do 25 µR/h). U takvoj geološkoj sredini anomalije radioaktivnosti prouzrokovane su koncentracijom radioaktivnih minerala u gnajsevima. Ovi se javljaju u vidu žica ili sočiva i konkordantno zaležu unutar amfibolskih stena.

Otkrivene pojave predstavljaju poseban tip mineralizacije, čija je glavna odlika da su sadržaji torijuma u orudnjenim žičnim stenama veći od količinskog prisustva urana. Takve stene su obično obogaćene feromagnetičnim mineralima u odnosu na amfibolite, amfibolske gnajseve i amfibolske škriljce, što omogućava primenu magnetske metode pri njihovom istraživanju. Sličan tip orudnjenja nije zapažen u domenu ostalih metamorfnih stena iz ove oblasti. Prema dosadašnjim rezultatima istraživanja proizilazi da samo predeli pojavljivanja amfibolskih stena predstavljaju povoljnu sredinu za formiranje torijumo-uranove mineralizacije. Zato napred opisan način pojavljivanja amfibolskih stena predstavlja nepovoljnu okolnost u pogledu mogućnosti otkrivanja većeg broja nalazišta odgovarajućih pojava orudnjenja na širem prostranstvu i u različitim nivoima razvića ovih stena, a s tim u vezi i veće verovatnoće postojanja kvalitetnijeg orudnjenja. Upravo za sada su sve značajnije pojave torijumo-uranovog orudnjenja otkrivene baš tamo gde amfibolske stene imaju najveće rasprostranjenje, dok u predelima malih partija u većini slučajeva ono nije ni konstatovano.

U području Selečke planine izdvojene su samo tri veće partije amfibolskih stena. Dimenzije njihovih otkrivenih površina ne prelaze 3 $\times$ 1 km^2. Međusobno su znatno udaljene — oko 4 do 15 km (sl. 2). Nalaze se na lokalnostima Samoviljak (između sela Dunje i Kokre), Konjarnik (između sela Kokre i Selce) i Crni Kamen (između sela Alinci i Topolčane). Upravo na njima su izvođena obimnija ispitivanja, koja su obuhvatila i primenu magnetske metode, pa će sledeća razmatranja biti prikazana po redosledu navedenih lokalnosti.

Samoviljak. — Amfibolske stene iz ovog predela pojavljuju se u vidu uzanog pojasa, koji se prostire u pravcu IJI — ZSZ u domenu kote 1.023 i reke Cuculeta (sl. 3). U topografski istaknutijim delovima terena stene su ogolićene, dok su u nižim pokrivene nanosom i humusom koji pomegde dostiže moćnost i preko 2 m. Efikasnost geološko-radiometrijske prospekcije umanjena je, s jedne strane, znatnom pokrivenošću istočnog dela lokalnosti i, s druge strane, postojanjem veoma razvijenog mehaničkog oneola rasejavanja.

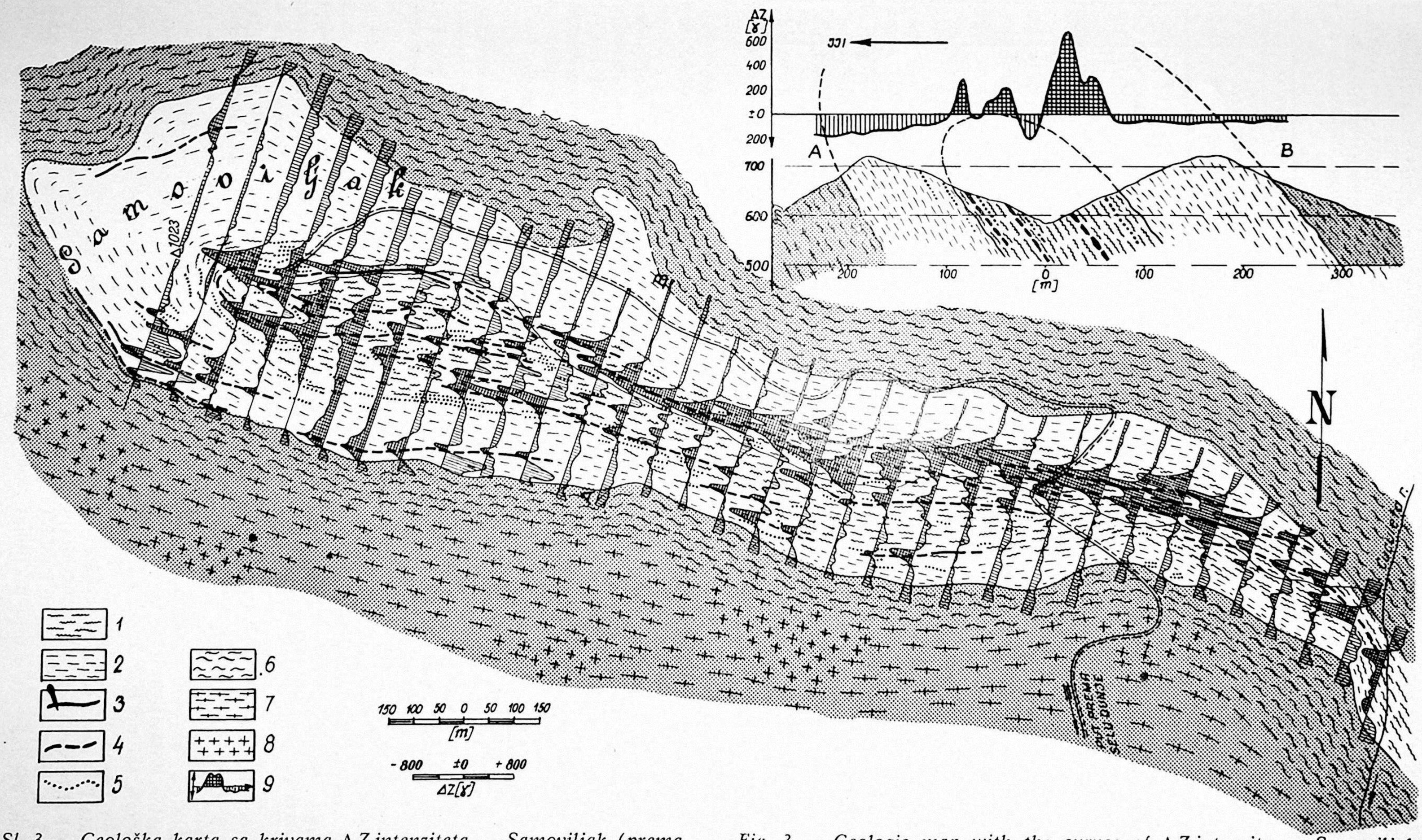
Heterogen petrografski sastav serije amfibolskih stena uslovljava veoma široke granice variranja ΔZ-intenziteta. U njenoj građi učestvuju trošni biotitsko-piroksenski škriljci, jedre amfibolske stene, aktinolitsko-tremolitski škriljci, biotitsko-amfibolski, biotitski, dvoliskunski i muskovitski gnajsevi, zatim granatiti, muskovitski škriljci i najzad kvarcne i kvarcno-feldspatske žice i sočiva (M. Kalić, 1958). Magnetski susceptibilitet ispitivanih primeraka većine nabrojanih članova serije varira od nekoliko desetina do preko 10.000 $\times$ 10^{-6} CGS jedinica (tabl. 1). Usled toga su vrednosti ΔZ-intenziteta na ispitivanoj lokalnosti veoma promenljive (od —4.000 do blizu +5.000 gama). Od ispitivanih stena najniže vrednosti ovog intenziteta registrovane su iznad čvrstih amfibolskih stena, koje predstavljaju obodne delove serije i u strukturnom pogledu čine krila jedne, znatnim delom razorene, prema JJZ polegle antiklinale (sl. 3). Slične magnetske osobine imaju i okolni muskovitski gnajsevi u kojima je ukliještena serija amfibolskih stena, tako da se ne mogu izdvajati na osnovu magnetskog polja. Međutim, biotitsko-piroksenski škriljci, koji se nalaze IJI od kote 1.023, gde je otkriveno jezgro antiklinale, veoma jasno se izdvajaju na osnovu rezultata magnetskih ispitivanja. Upravo u predelu razvoja ovih stena zabeležen je najveći broj izrazitih magnetskih anomalija na ovoj lokalnosti. Samo nekoliko od njih nalazi se u pojasu čvrstih amfibolskih stena.

Na osnovu podataka laboratorijskih ispitivanja i terenskih razmatranja utvrđeno je da su magnetske anomalije prouzrokovane aktinolitsko-tremolitskim škriljcima i radioaktivnim gnajsevima. Sve magnetske anomalije čiji ΔZ-intenzitet prelazi vrednost od približno 1.000 gama mogu se sa sigurnošću pripisati uticaju aktinolitsko-tremolitskih škriljaca.* Raspored takvih anomalija i oblik njihovog rasprostranjenja ukazuje na daleko veće učešće ovih stena u zoni biotitsko-piroksenskih škriljaca nego što pokazuju rezultati geološkog kartiranja (sl. 3).

Magnetični škriljci se javljaju u vidu sistema paralelnih žica čija moćnost varira oko 1—5 m. Neke od njih se prostiru na dužini preko 500 m, pa čak i do 1 km. Konkordantno zaležu u amfibolsko-piroksenskim stenama i u nekim slučajevima blizu površine isklinjavaju prema dubini. Na to ukazuju anomalije negativnog znaka, koje se obično nalaze sasvim blizu pozitivnih anomalija visokog intenziteta prateći njihov pravac prostiranja.

---

* Aktinolitsko-tremolitski škriljci sadrže oko 12—15% Fe (prema hemijskim ispitivanjima V. Mijušković).



Sl. 3 — Geološka karta sa krivama Δ Z-intenziteta — Samoviljak (prema podacima geološkog kartiranja 1:1.000 — M. Cukućan i P. Vasiljević). 1 — trošni biotitsko-piroksenski škriljci; 2 — čvrste amfibolske stene; 3 — aktinolitsko-tremolitski škriljci uočeni pri geološkom kartiranju; 4 — aktinolitsko-tremolitski škriljci — dopuna geološke karte prema indikacijama magnetnih ispitivanja; 5 — gnajsevi (biotitski, muskovitski itd.) u vidu žica i sočiva; 6 — muskovitski gnajsevi; 7 — gnajs-granit; 8 — granit; 9 —krive Δ Z-intenziteta

Fig. 3 — Geologic map with the curves of Δ Z-intensity — Samoviljak (according to data of geologic mapping 1:1.000 — M. Cukućan and P. Vasiljević). 1 — lees compact biotite-pyroxene schists; 2 — compact amphibolitic rocks; 3 — aktinolite-tremolite schists observed by geologic mapping; 4 — aktinolite-tremolite schists — additional data obtained by magnetometric method; 5 — gneisses (biotite-, muscovite-, etc); 6 — muscovite gneisses; 7 — gneiss-granite; 8 — granite; 9 — curves of Δ Z-intensity

Tabl. 1 — Vrednosti magnetskog susceptibiliteta stena i metalični minerali koji ulaze u mineralni sastav ispitivanih primeraka (mineraloška ispitivanja obavio V. Vujanović). Feromagnetični minerali čiji je magnetski susceptibilitet iznad 30.000 × 10—⁶ CGS (C. A. Heiland — 1951)

Table 1 — The values of magnetic susceptibility of rocks and metalic minerals of which investigated specimens were composed (mineralogical determinations by V. Vujanović). Ferromagnetic minerals of magnetic susceptibility higher than 30.000 × 10—⁶ CGS (C. A. Heiland — 1951)

LOKALNOST / VRSTA STENE	SAMOVILJAK			KONJARNIK			CRNI KAMEN		
	MAGN. SUSCEPT. ×10⁻⁶ CGS OD - DO / SRED. VREDN.	METALIČNI MINERALI	BROJ PRIMERAKA	MAGN. SUSCEPT. ×10⁻⁶ CGS OD - DO / SRED. VREDN.	METALIČNI MINERALI	BROJ PRIMERAKA	MAGN. SUSCEPT. ×10⁻⁶ CGS OD - DO / SRED. VREDN.	METALIČNI MINERALI	BROJ PRIMERAKA
AKTINOLITSKO-TREMOLITSKI ŠKRILJCI	2190 - 17.600 / 7.044	MAGNETIT ● PIRHOTIN ● ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT PENTLANDIT	7	—	—	—	—	—	
RADIOAKTIVNE ŽIČNE STENE (GNAJSEVI)	50 - 2860 / 272	MAGNETIT ● PIRHOTIN ● ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT PIRIT URANINIT	38	180 - 4140 / 933	MAGNETIT ● PIRHOTIN ● ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT PIRIT MARKASIT HALKOPIRIT SFALERIT GALENIT URANINIT	21	87 - 397 / 275	MAGNETIT ● ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT PIRIT GALENIT KOVELIN	6
ČVRŠĆE AMFIBOLSKE STENE	42 - 130 / 81	ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT	35	96 - 260 / 161	ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT	16	50 - 253 / 135	ILMENIT ● HEMATIT LIMONIT	4
PIROKSENSKO-AMFIBOLSKI ŠKRILJCI	77 - 140 / 98	ILMENIT HEMATIT LIMONIT	4	—	—	—	21 - 107 / 48	LIMONIT	4

Iz prethodnog može se videti da su magnetskim ispitivanjima veoma pouzdano izdvojeni aktinolitsko-tremolitski škriljci u seriji amfibolskih stena. Međutim, njihovim prisustvom otežano je jasno indiciranje mineralizovanih, radioaktivnih žičnih stena, koje se kao i magnetični škriljci, u najvećem broju slučajeva javljaju u jezgru antiklinale, odnosno u biotitsko-piroksenskim škriljcima. Upravo, aktinolitsko-tremolitski škriljci imaju oko 3 puta veće vrednosti magnetskog susceptibiliteta nego radioaktivni gnajsevi (tabl. 1), pa su magnetske anomalije izazvane ovim zadnjim zamaskirane izrazito visokim vrednostima ΔZ-intenziteta prouzrokovanim najbližim magnetičnim škriljcima. Zbog toga je samo u pojedinim slučajevima moguće diferencirati anomalije prema prirodi njihovog uzročnika i to izvođenjem veoma detaljnih magnetnih ispitivanja paralelno sa radiometrijskim i uz čestu proveru rezultata raskopavanjem.

Nejasne magnetske indikacije nisu posledica samo relativno niskih vrednosti magnetskog susceptibiliteta radioaktivnih stena u odnosu na magnetski susceptibilitet aktinolitsko-tremolitskih škriljaca, već i načina pojavljivanja torijumo-uranonosnih žičnih stena. Naime, ove se najčešće nalaze u vidu sočiva neznatnih dimenzija ili žica veoma male moćnosti — ispod 0,5 m. Retki su slučajevi gde sočiva i žice radioaktivnih stena imaju moćnost preko 0,5 m, što je potvrđeno rudarskim istražnim radovima. Pri takvom stanju ne mogu se ni očekivati izrazitije magnetske anomalije, koje bi bile vezane za mineralizovane radioaktivne stene.

Konjarnik. — I ova partija amfibolskih stena, kao i prethodno opisana, leži duž linije navlačenja Dunje, Kokre, Manastirište (sl. 2). U njenoj podini nalaze se mikašisti, a prema SI je u tektonskom kontaktu sa granit-gnajsevima. Postoji velika sličnost u pogledu petrografskog sastava i strukturne gradje između ove partije amfibolskih stena i odgvarajuće na lokalnosti Samoviljak. Izgleda da su one pripadale jednoj jedinstvenoj, kontinuelnoj seriji, pre nego što je ova bila izložena tektonskim procesima i eroziji, usled čega danas nalazimo njene ostatke u vidu dve izolovane partije. Izgrađene su od stena koje bi se mogle svrstati u dve glavne grupe: čvrste amfibolske i trošne biotitsko-piroksenske. I na jednoj i na drugoj lokalnosti one imaju slične magnetske osobine. U strukturnom pogledu u oba slučaja se radi o antiklinalnoj formi zaleganja pomenutih stena. Isto tako uočljivo je da se kako u jednoj tako i u drugoj partiji radioaktivne žične stene češće pojavljuju u predelu biotitsko-piroksenskih stena nego u domenu kompaktnih amfibolskih stena. Međutim, utvrđeno je da se pojave ovih na lokalnosti Konjarnik unutar čvrstih amfibolskih stena znatno razlikuju po nekim osobinama od pojava u istim stenama na lokalnosti Samoviljak. Ta se razlika ogleda, pre svega, u tome što su na prvoj lokalnosti torijumo-uranonosne žice većih

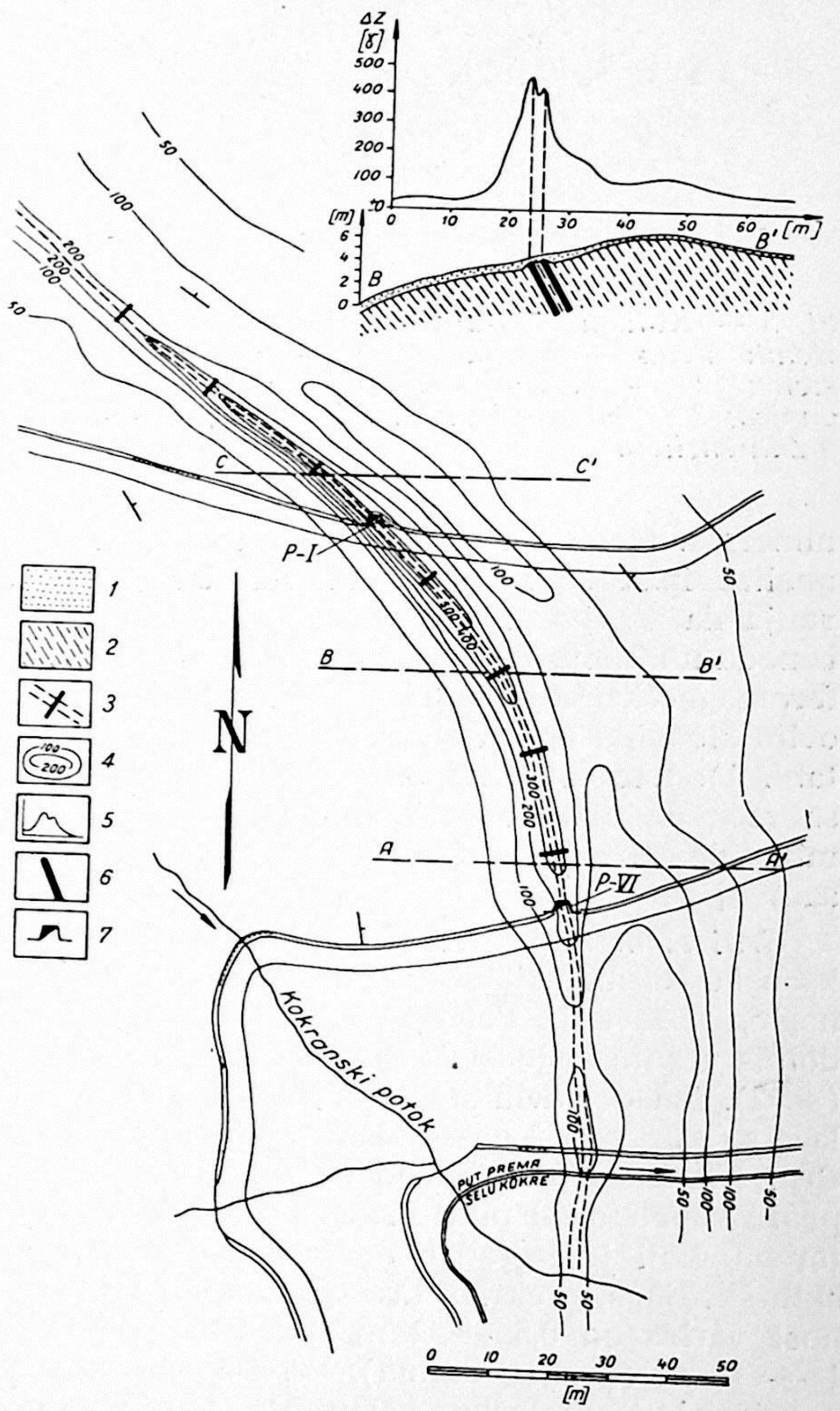
dimenzija, sa brojnijom zastupljenošću mineralnih vrsta metaličnih minerala i sa znatno većim vrednostima magnetskog susceptibiliteta (tabl. 1). Osim toga, a što je i najbitnije, ovde je i stepen torijumo-uranskog orudnjenja veći.

Ispitivanja primenom magnetske metode na lokalnosti Konjarnik nisu vršena na celom prostoru pojavljivanja amfibolske serije već su bila lokalizovana samo na užu površinu, gde su otkrivene mineralizovane žice označene kao 2 i 3. Njihov cilj sastojao se u tome da se utvrdi efikasnost primene magnetske metode na indiciranju radioaktivnih žica koje su već bile rudarskim radovima delimično istražene SZ od profila C—C', odnosno potkopa P—I (sl. 4). Pored toga, trebalo je rešiti problem praćenja ovih žica dalje prema JI odnosno J, pošto ove nisu bile tamo otkrivene ne samo na padinama, koje su pod humusom i osulinskim materijalom, već ni na usecima puta. Usled pokrivenosti terena, a naročito zbog mehaničkog oreola rasejavanja na strmim padinama, primenom radiometrijskih metoda nisu dobijeni dovoljno sigurni podaci za lociranje odgovarajućih rudarskih radova. Terenskim razmatranjima nije se moglo utvrditi da se elementi zaleganja žica tako naglo menjaju idući od potkopa P—I predelom profila B—B' i A—A' (sl. 4).

Već na osnovu prvih podataka magnetskih ispitivanja u domenu profica C—C' i potkopa P—I utvrđeno je postojanje jasnih anomalija, koje su vezane za radioaktivne žice. Detaljnim premerom u domenu najvećih vrednosti ΔZ-intenziteta konstatovano je postojanje dva maksimuma, koji su tačno odgovarali izdancima žica 2 i 3. Podinu i povlatu žica čine čvrste amfibolske stene, iznad kojih je ΔZ-intenzitet znatno manji (sl. 5). Na taj način utvrđeno je da se žice sa uspehom mogu pratiti prema JI odnosno J, što je kasnije potvrđeno postignutim rezultatima magnetskih ispitivanja i proveravanjem ovih raskopavanjima. Žice su praćene na dužini preko 200 m sa maksimalnim vrednostima ΔZ-intenziteta oko 100 — 700 gama koji odgovaraju žicama moćnosti od 0,3 — 1,5 m. Na osnovu ovih podataka lociran je potkop P—VI oko 50 m visinski niže od potkopa P—I. Na celoj dužini ovog potkopa konstatovano je postojanje dve paralelne mineralizovane žice biotitskog gnajsa.

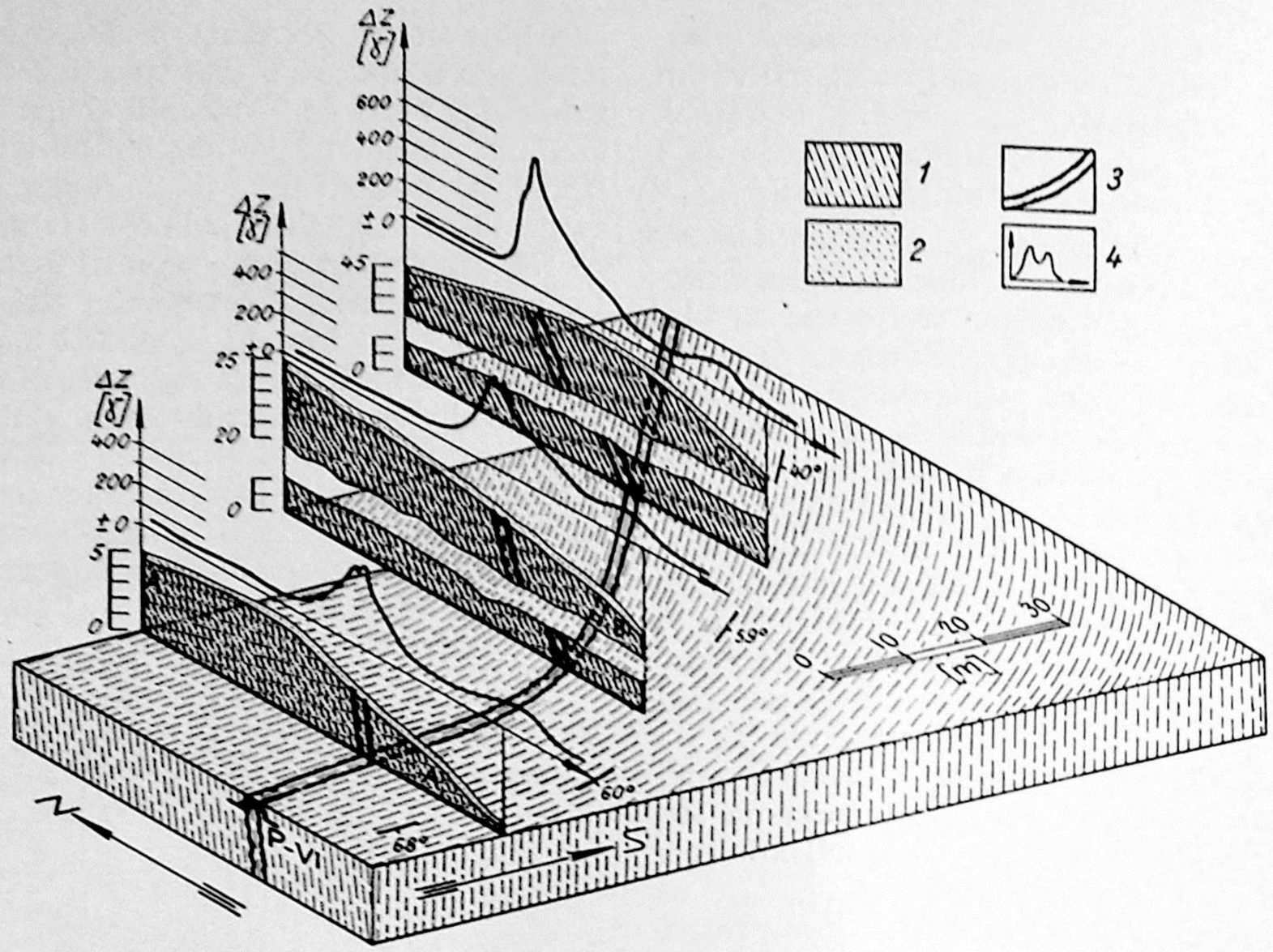
Kao što se na kulisnom blok-dijagramu vidi (sl. 5) konfiguracija knivih ΔZ-inteziteta vrlo jasno ilustruje zaleganje magnetičnih torijumouranonosnih žica, što sasvim odgovara situaciji u potkopu P—VI. Tako jasne indikacije prouzrokovane su znatno većom koncentracijom feromagnetičnih minerala — magnetita i ilmenita — u mineralizovanim gnajsevima nego u okolnim amfibolskim stenama. Osim toga, u radioaktivnim žicama utvrđeno je prisustvo još jednog fero-magnetičnog minerala — pirhotina, dok u okolnim stenama ovaj nije konstatovan. Ispitivanjem magnetskog susceptibiliteta, utvrđeno je da su njegove vrednosti oko 6 puta veće kod istraživanih mineralizovanih žica nego kod susednih stena. Tako srednja vrednost magnetskog susceptibiliteta ovih žica iznosi 933 × 10^{-6} CGS a okolnih amfibolskih stena svega 101 × 10^{-6} CGS jedinica (tabl. 1).

Na osnovu uporedne analize rezultata laboratorijskih ispitivanja primeraka naslućuje se izvesna zavisnost između vrednosti magnetnog susceptibiliteta i intenziteta radioaktivnosti. Odnosno, ukoliko je veći intenzitet radioaktivnosti ispitivanih primeraka, utoliko je njegov magnetski susceptibilitet viši. Interesantno je napomenuti da je uočeno da većoj radioaktivnosti i većem magnetskom susceptibilitetu odgovara primerak u kome je konstatovan i veći broj vrsta metaličnih



Sl. 4 — Karta izogama Δ Z-intenziteta — Konjarnik. 1 — humus i osulinski materijal; 2 — čvrste amfibolske stene; 3 — raskopi; 4 — izogama Δ Z-intenziteta; 5 — kriva Δ Z-intenziteta; 6 — torijumo-uranonosne žice biotitskog gnajsa; 7 — potkop

Fig. 4 — Isogamma map of Δ Z-intensity — Konjarnik. 1 — soil and talus material; 2 — compact amphibolitic rocks; 3 — trenches; 4 — isogammas of Δ Z-intensity; 5 — curve of Δ Z-intensity; 6 — thorium-uranium bearing veins composed of biotite gneiss; 7 — gallery



Sl. 5 — Kulisni blok-dijagram torijumo-uranonosnih žičnih stena — Konjarnik. 1 — čvrste amfibolske stene; 2 — torijumo-uranonosne žice biotitskog gnajsa; 3 — humus i osulinski materijal; 4 — kriva Δ Z-intenziteta

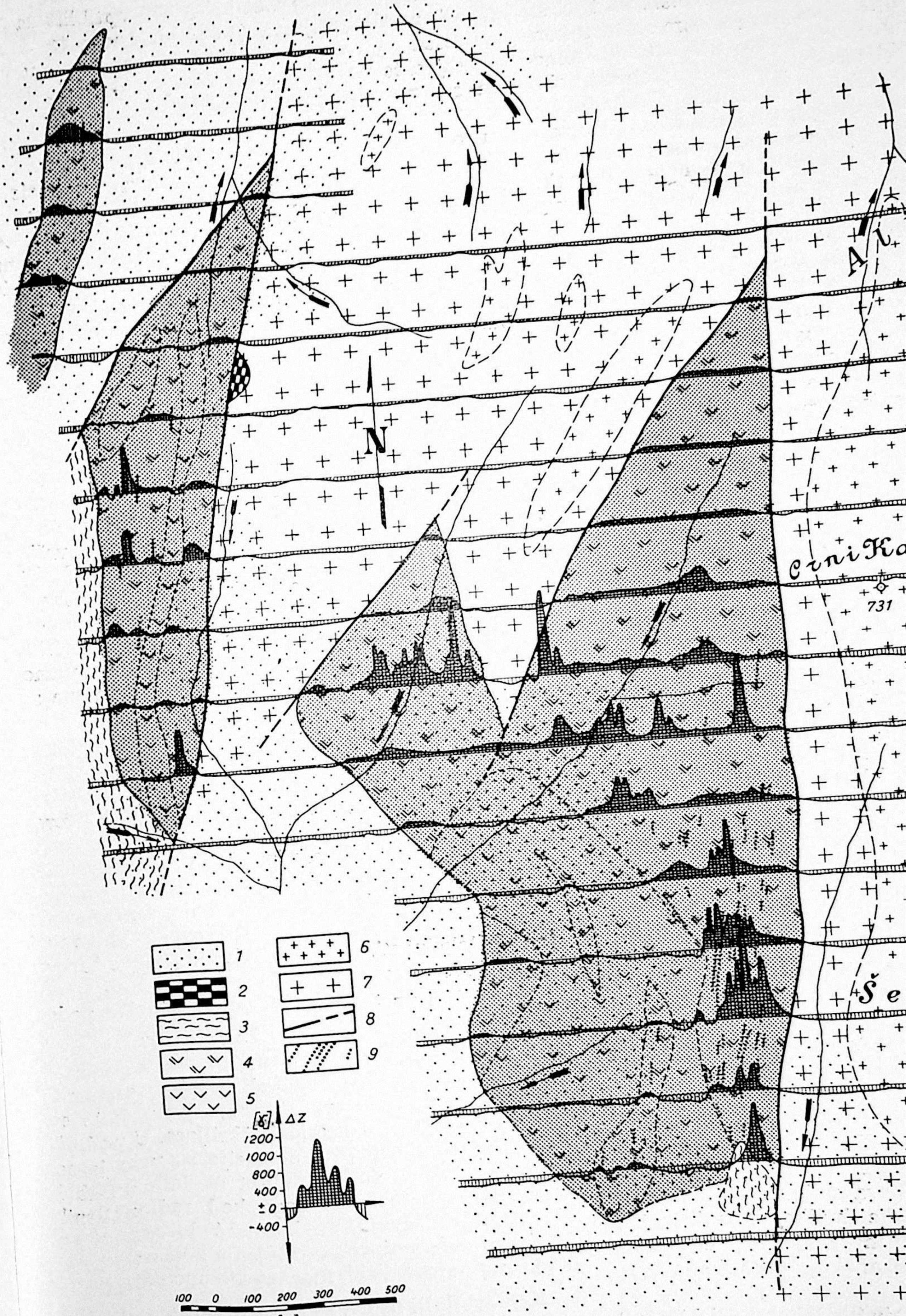
Fig. 5 — Block diagram of thorium-uranium bearing veins — Konjarnik. 1 — compact amphibolitic rocks; 2 — thorium-uranium bearing veins of biotite-gneiss; 3 — soil and talus material; 4 — curves of △ Z-intensity

minerala. Mada o tome ne postoji dovoljan broj analiza ipak se iz podataka dosadašnjih ispitivanja da zaključiti da postoji paragenetska veza između unošenja Th i U u žične stene i formiranja feromagnetičnih i ostalih metaličnih minerala u ovim stenama (misli se na minerale prikazane u tabl. 1). Isto tako, na osnovu prethodnog, može se reći, da ukoliko je količinsko prisustvo ovih minerala veće u primerku, utoliko je veći i sadržaj Th i U.

Crni Kamen. — Predeo rasprostranjenja piroksensko-amfibolskih škriljaca nalazi se u domenu naglog sužavanja Pelagonijske kotline, gde uska dolina vezuje Prilepski i Bitoljski tercijarni basen (sl. 2). Izdanci ovih stena su relativno retki i nalaze se samo na jugozapadnim padinama grebena Crni Kamen i mestimično na uzvišenju koje se pruža zapadno od puta Prilep—Bitolj. Ostali deo terena, koji je izgrađen od piroksensko-amfibolskih škriljaca, prekriva kvartarni nanos čija moćnost varira od 0,5 — 2 m (predeo padina) do 1 — 10 m (predeo dolina). Pri takvom stepenu pokrivenosti geološko kartiranje bez obimnog raskopavanja moglo je dati samo grubu sliku rasprostiranja ovih stena. Usled toga je konstatovano da se piroksensko-amfibolski škriljci pojavljuju kontinuirano u okviru jednog pojasa, koji obuhvata napred pomenute izdanke i čija duža osa ima pravac pružanja SZ — JI (sl. 2).

Kako se i na ovoj lokalnosti torijumo-uranova mineralizacija javlja u predelu amfibolske serije, izdvajanje površina, gde se ova nalazi, predstavljalo je sastavni deo zadatka u vezi otkrivanja mineralizovanih žičnih stena. Taj problem je veoma uspešno rešen primenom magnetske metode. Pre svega konstatovano je da se piroksensko-amfibolski škriljci ne protežu u jednoj kontinuiranoj zoni, već da se javljaju u tri izolovane partije (sl. 6). Njihov prostorni oblik i međusobni odnos verovatno je prouzrokovan tektonskim i magmatskim pokretima u toku kojih je ranije jedinstvena serija amfibolskih stena ispresecana rasedima, a njeni pojedini delovi dovedeni u različit položaj i visinski nivo tako da ih je kasnije erozija konačno izolovala.

Pozitivne vrednosti Δ Z-intenziteta magnetskog polja sa znatnim dijapazonom variranja, registruju se samo iznad piroksensko-amfibolskih škriljaca. U domenu ostalih stena, gde su vršena magnetska ispitivanja, vrednosti pomenutog intenziteta su negativne i variraju u vrlo uskim granicama (sl. 6). Uočeno je da se na osnovu magnetskih osobina pomenuti škriljci mogu diferencirati na zone koje odgovaraju pozitivnim pokazivanjima Δ Z-intenziteta (obzirom na odabrani nivo) i na zone gde su ova negativna. Prilikom provere rezultata magnetskih ispitivanja raskopavanjem konstatovano je da se ovakvo izdvajanje zona približno slaže sa petrografsko-mineraloškim karakteristikama odgovarajućih stena. Naime, u zonama pozitivnih vrednosti Δ Z-intenziteta, a naročito u predelima izrazitih anomalija, prema rezultatima petrografs



Sl. 6 — Geološka karta sa krivama ΔZ-intenziteta magnetskog susceptibiliteta; 5 — piroksensko-amfibolski škriljci manjeg magnetskog susceptibiliteta; 6 — alkalni sijenit; 7 — alkalni kvarc-sijenit gnajs; 8 — rasedna linija; 9 — istraživane mineralizovane žice — Crni Kamen. 1 — aluvion; 2 — mermer; 3 — mikašist; 4 — piroksensko-amfibolski škriljci većeg

Fig. 6 — Geologic map with t — Crni Kamen. 1 — alluv micaschist; 4 — pyroxene-am magnetic susceptibility; 5 schists of lower magnetic s syenite; 7 — alkali quartz-s line; 9 — investigated min

mineraloških i magnetskih ispitivanja, u gradji terena znatno učešće imaju amfibolski škriljci sa piroksenom. U njihovom mineralnom sastavu konstatovano je znatno prisustvo magnetičnih minerala, a magnetski susceptibilitet tih stena je oko 135×10^{-6} CGS (tabl. 1). Međutim, u zonama negativnih vrednosti ovog intenziteta teren je uglavnom izgrađen od piroksensko-biotitskih škriljaca, čiji je magnetski susceptibilitet oko tri puta manji, a unutar njih su rteke pojave prethodno pomenutih stena.

Izdvajanje pomenutih zona ima praktičan značaj, jer se u predelima škriljaca sa niskim vrednostima Δ Z-intenzitcta ne nalaze ili su sasvim retke pojave mineralizovanih žica. Naprotiv, u predelima pozitivnih vrednosti Δ Z-intenziteta, naročito u zonama izrazitijih magnetskih anomalija, pojave ovih žica su vrlo česte.

Prostorno najveća magnetska anomalijska zona nalazi se u domenu gde je izdvojena i najveća partija piroksensko-amfibolskih škriljaca. Ona se prostire na dužini oko 2,5 km sa veoma uočljivom istočnom granicom, koja se skoro pravolinijski pruža u pravcu S — J i odgovara tektonskom kontaktu škriljci — sijeniti (sl. 6). Izgleda da je ovakav karakter kontakta i u ostalim slučajevima, kad se radi o istočnim i severozapadnim granicama piroksensko-amfibolskih škriljaca, obzirom na dva sistema naznačenih raseda, koji bi po starosti odgovarali alpskim orogenim pokretima i uklapali bi se u opšti strukturni sklop šireg područja ove oblasti.

Magnetske anomalije čiji Δ Z-intenzitet varira od 400—2.000 gama veoma jasno pokazuju tendenciju prostiranja S—J, što je u saglasnosti sa pružanjem stena, čijim su prisustvom prouzrokovane. Takve anomalije mogu se pratiti po nekoliko stotina metara ili čak i do 1,5 km, kao što je slučaj kad je u pitanju anomalijska zona koja se pruža paralelno kontaktu škriljci — sijeniti (sl. 6). Izdvajanje delova terena sa izrazitim magnetskim anomalijama bilo je od interesa, obzirom na uzročnu vezu između njih i anomalija radioaktivnosti koje su konstatovane prilikom prvih geofizičkih ispitivanja na ovom terenu istovremenom primenom aerogama i aeromagnetske prospekcije (sl. 1). U toku detaljnih istraživanja utvrđeno je da se baš u tim predelima piroksensko-amfibolskih škriljaca nalaze mineralizovane »alkalne« žične stene tipa »injekcionog gnajsa« (M. Protić, S. Cvetić, 1959) i da je njihova najveća koncentracija tamo gde su magnetske indikacije najizrazitije (sl. 6), što je u znatnoj meri doprinelo efikasnom istraživanju torijumo-uranskog orudnjenja i na ovoj lokalnosti.

Na osnovu odgovarajućih laboratorijskih ispitivanja utvrđeno je da torijumo-uranonosne žične stene sadrže od feromagnetičnih minerala magnetit i ilmenit i da njihov magnetski susceptibilitet iznosi oko 275×10^{-6} CGS jedinica. Imajući u vidu da su ista ispitivanja pokazala da se magnetski susceptibilitet amfibolskih škriljaca mnogo ne razlikuje od odgovarajućeg susceptibiliteta mineralizovanih gnajseva (tabl. 1), kao i to da je najčešća pojava radioaktivnih žica u domenu gde se najčešće pojavljuju ovi škriljci, onda je jasno da su magnetske anomalije prouzrokovane prostorno bliskim prisustvom obeju vrsta stena. Zato su rezultati magnetskih ispitivanja korišćeni u sklopu podataka dobijenih primenom emanacione i gama metode. Pri tome su magnetske indikacije prvenstveno korišćene da se okontune delovi terena gde se sigurno javlja torijumo-uranova mineralizacija i na taj način eliminišu površine gde su radiometrijske anomalije posledica oreola rasejavanja, koji je na ovom terenu veoma rasprostranjen.

ZAKLJUČAK

Pri istraživanju nuklearnih mineralnih sirovina primena radiometrijskih metoda u nizu slučajeva ne daje povoljne rezultate. Često se dešava da se odgovarajuća ležišta ne manifestuju na površini terena niti preko izdanaka niti preko oreola rasejavanja. Zato klasične geofizičke metode, a među njima i magnetska, imaju sve širu primenu u ovoj oblasti. U nekim slučajevima magnetske indikacije vode indirektnim putem ka ležištima pomenutih sirovina, a nekada su i direktno vezane za ova ležišta.

Korišćenje magnetske metode pri istraživanju pojava torijumo-uranovog orudnjenja u oblasti Selečke planine omogućeno je činjenicom da se radioaktivni minerali javljaju u asocijaciji sa feromagnetičnim mineralima — magnetitom, pirhotinom i ilmenitom. Mineralizacija je lokalizovana u gnajsevima koji se javljaju u vidu žica i sočiva i konkordantno zaležu unutar serije amfiboslkih stena. S obzirom na geološko-geofizičke odlike pojedinih lokalnosti, gde su otkrivene pojave torijumo-uranovog orudnjenja — Samoviljak, Konjarnik, Crni Kamen — mogućnosti interpretacije podataka magnetskih ispitivanja su različite.

U domenu prve lokalnosti magnetske indikacije, prouzrokovane mineralizovanim stenama, uglavnom su zamaskirane anomalijama koje su posledica okolnih magnetičnih škriljaca. U području druge lokalnosti ove indikacije su vrlo jasne, jer je magnetski susceptibilitet okolnih amifbolskih stena znatno niži nego kod radioaktivnih biotitskih gnajseva. U predelu treće lokalnosti pojave torijumo-uranovog orudnjenja koncentrišu se u zonama najizrazitijih magnetskih anomalija.

Najpovoljniji uslovi za primenu magnetske metode pri istraživanju radioaktivnih gnajseva u seriji amfibolskih stena su u onim slučajevima kada se mineralizovane žične stene javljaju unutar čvrstih amfibolskih stena. Najnepovoljnije okolnosti su ako se ove nalaze u predelu trošnih biotitsko-piroksenskih stena sa čestom pojavom aktinolitsko-tremolitskih škriljaca u njima.

Na osnovu rezultata primene magnetske metode i određivanja magnetskog susceptibiliteta na većem broju primeraka ispitivanih stena bilo je omogućeno ne samo otkrivanje i praćenje mineralizovanih žičnih stena nego i tačnije tumačenje geološko-strukturnih odnosa u predelima istraživanih lokalnosti. Zahvaljujući tome, magnetska ispitivanja su u znatnoj meri doprinela efikasnosti izvođenja prospekciono-istražnih radova u sklopu ostalih geološko-geofizičkih ispitivanja u oblasti Selečke planine.

LITERATURA

1) Cukućan M., 1959: Geološka struktura amfibolske serije u ataru sela Peštan sa osvrtom na radioaktivne pojave. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
2) Ćebić V., 1959: Izveštaj o petrografskom ispitivanju uže okoline radilišta Selce sa geološkom kartom 1:1000. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
3) Gramakov A. G., Nikonov A. I., Tafeev G. P., 1957: Radiometričeskie metodi piskov i razvedki uranovih rud, Moskva.
4) Heiland C. A., 1951: Geophisikal exploration. New York.
5) Krasnikov V. I., 1955: Racionalnie poiski rudnih mestoroždenij, Moskva.
6) Kalić M., 1958: Petrografski sastav šire okoline Peštana. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
7) Nagata T., 1958: Rock magnetizm, Tokyo.
8) Nedimović R., 1958: Izveštaj o istraživanju urana na terenu Selce. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
9) Protić M., 1958: Selečka planina. Izveštaj uz geološku kartu 1:25.000 i studija metamorfizma i granitizacije. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
10) Protić M., Cvetić S., 1959: Alkalni sijeniti i srodne stene Crnog Kamena južno od Prilepa. Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. XXVI, Beograd.
11) Petrović M., 1959: Radiometrijska prospekcija iz vazduha Selečke planine. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
12) Teofilović M., 1956: Izveštaj o geološko-petrografskom kartiranju terena Kozjak — Nodže — Crna reka. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
13) Teofilović M., 1957: Izveštaj o geološko-petrografskom kartiranju Nidže. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
14) Vukašinović S., 1958: Geološko-geofizička ispitivanja terena Peštane. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
15) Vulović D., 1959: Izveštaj o radu II prospektorske ekipe u toku 1958. na području Selečke, Dren i Kozjak planine. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.

SUMMARY

APPLICATION OF MAGNETIC METHOD IN EXPLORATION OF THORIUM-URANIUM BEARING VEIN ROCKS IN SELEČKA MOUNTAIN AREA

STANISLAV VIŠIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

A number of occurrences of the thorium-uranium mineralizations have been discovered in the Selečka Mountain area (SE Macedonia). Different methods of geologic and geophysical investigations were applied, among them the magnetic, and the results obtained with the later were particulary successful, which suggest the futher extension of this method in the investigation of similar problems.

Three mineral-bearing localities in this area have been investigated. The mentioned localities have many similar geological and geophysical features. The radioactive mineralizations are located in a formation of amphibolitic rocks, and are connected with the gneisses, which occur in the form of veins and lenses. The gneisses are located inside the amphibolitic formation and are in the concordant relations with them. Radioactive minerals are associated with ferromagnetic minerals — magnetite, pyrhotite and ilmenite. The thorium-uranium bearing gneisses have remarkably higher magnetic susceptibility than the non-mineralized gneisses. When these gneisses are located inside the zones of the compact amphibolitic rocks, they could be easily traced by the magnetic method. However, when they are inside the less compact zones of the amphibolitic schists, associated with actinolite-tremolite veins, the problem of tracing and delineating becomes more difficult.

By the application of the magnetic method it was possible not only to trace the thorium-uranium bearing gneisses, but also to obtain the more precise data for interpretation of geologic and structural relations in the mentioned localities. In this way the magnetic method not only helped to solve some problems more qualitatively, but also has increased the speed and efficiency of expolaration in the Selečka Mountain area.

VLADAN SIMIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

PRILOG INTERPRETACIJI REZULTATA AERORADIOMETRIJSKIH ISPITIVANJA

Kao što je poznato intenzitet gama radioaktivnosti, meren aeroradiometrom bilo kog tipa, se mora, s obzirom na neminovne promene relativne visine pri letu, svoditi na jednu relativnu visinu, obično površinu zemlje.

U interpretaciji rezultata primene aeroradiometrijske metode obično se vizuelno izdvajaju maksimumi nad okolnim intenzitetom zračenja pregledom zapisa, a određivanjem širine ovih maksimuma kao i oblika maksimuma sudi se o njegovoj lokalnosti. Uzimanjem u obzir geoloških uslova daje se konačna ocena. Dalja obrada rezultata se sastoji u izradi karata gama radioaktivnosti ispitivanog terena na osnovu vrednosti gama polja sračunatih u tačkama duž profila na jednakom međusobnom rastojanju i manjeg broja vrednosti između ove osnovne mreže tačaka gde se uočava povišenje ili sniženje gama radioaktivnosti. Još uvek ostaje veliki deo zapisa koji se ne koristi. To su delovi sa neuočljivim promenama radioaktivnosti, tj. sa promenama reda veličine fluktuacije ili nešto većih od ove. Cilj ovog rada je pokušaj da se pri interpretaciji koristi kontinuelan zapis. Način postizanja ovoga je po našem mišljenju statistička obrada zapisa uz određivanje najverovatnijih anomalija, tj. svih vrednosti koje za bilo koju merljivu veličinu nadvišavaju granicu najverovatnije vrednosti radioaktivnosti jedne formacije, odnosno koje ne ulaze u opseg normalnog rasejavanja oko najverovatnije vrednosti.

Iznet je primer ovakvog izdvajanja anomalija i njihovog klasifikovanja, a pomenute su i neke druge mogućnosti analiziranja ovako dobijenih podataka o gama polju svakog litološkog člana.

UVOD

Rad na aeroradiometrijskoj prospekciji nuklearnih sirovina u našoj zemlji se odvija već pet godina. U tom periodu su ispitivanja vršena na terenima različitog geološkog sastava (od kiselih intruziva i ekstruziva preko metamorfnih stena do tercijarnih sedimenata). Metod rada je omogućavao veoma sigurno i efektno uočavanje svih anomalija radioaktivnosti koje su zahvatale prostor od približno 120×10 m², pri razlici radioaktivnosti od nekoliko desetina mikrorentgena u odnosu na okolnu stenu.

Površina anomalije	1000×1000	200×100	60×20	120×10	50×10
Radioaktivnost na zemlji (μR/h)	0,7	8,0	90	105	200

U ovoj tabeli su date površine anomalija i odgovarajuće radioaktivnosti, koje se mogu sigurno otkriti pri letu iznad njih na visini od 100 m (lit. 2).

Naravno, ovo se ostvarivalo uz uslov da se letelo približno upravno na pružanje ili neposredno iznad i duž površine sa anomalnom radioaktivnošću. Svi ostali slučajevi nisu mogli dati jasno uočljive anomalije na zapisu radioaktivnosti. Isto tako može se pretpostaviti da je određen broj anomalija radioaktivnosti ostao neuočljiv usled vrlo niske anomalne radioaktivnosti, koja je neznatno veća ili je reda veličina fluktuacije zapisa.

Ovo se komplikuje pogotovu još i uticajima topografije, koji zamagljuju čitavu sliku konfiguracije radioaktivnog polja ispitivanog terena.

U takvim uslovima jedini mogući način interpretacije rezultata ispitivanja bio je vizuelni pregled zapisa radioaktivnosti, uočavanje maksimuma i upoređivanje ovih podataka sa geološkom kartom. Pri ovoj interpretaciji uglavnom se vodilo računa o visini maksimuma (nad okolnim zapisom radioaktivnosti), o širini ovoga na polovini maksimalne vrednosti i položaju na geološkoj karti. Sledeći korak u interpretaciji bio je izrada radiometrijskih karata i dobijanje konfiguracije radioaktivnog polja na čitavom prostoru ispitivanja. Izrada ovih karata se zasnivala na interpolaciji i iscrtavanju izolinija radioaktivnosti sa ekvidistancom koja je za prvih dvadeset (obično) mikrorentgena bila veća od srednje kvadratne greške merenja (obično dobijene iz podataka ponovljenih ili sekućih maršruta). Na taj način, u osnovi potpuno ispravan, dobijena konfiguracija radioaktivnog gama polja omogućava uočavanje razlika u

radioaktivnosti između geoloških formacija, promene radioaktivnosti unutar jedne geološke formacije, kao i izvesnih tektonskih zona naročito ukoliko je duž njih došlo do magmatske aktivnosti. Prema tome, ovakav način rada je veoma dobar i koristan naročito pri izvođenju radova u predelima bez ili sa grubom geološkom kartom, jer se na osnovu konfiguracije gama polja mogu dobiti dragoceni podaci o geološkom sastavu ispitivanog područja, naravno ukoliko postoje razlike u radioaktivnosti. Međutim, pitanje anomalija radioaktivnosti čiji je maksimum reda ili nešto veći od fluktacije zapisa ostaje otvoreno. Ovaj smo problem pokušali da rešimo pomoću statističke analize merenja i tretiranja svake geološke formacije posebno. Uslov za predloženi način interpretacije radiometrijskih ispitivanja je postojanje geološke karte. Detaljnost karte ne treba da bude veća od razmere u kojoj su vršena aeroradiometrijska ispitivanja a mogu poslužiti i najgrublje karte samo sa litologijom (dovoljno je da su izdvojene metamorfne, magmatske i sedimentne grupe formacija). S obzirom na napred rečeno ovakve karte mogu biti proizvod i interpretacije aeroradiometrijskih snimanja i foto-snimaka uz minimalan broj proveravanja vrsta stena standardnim metodama. Prema tome, nedostatak geološke karte ispitivanog terena samo komplikuje rad, a nikako ne isključuje predloženi način interpretacije rezultata aeroradiometrijskih ispitivanja, koji će biti u daljem tekstu izložen.

METOD RADA

Izvorni materijali aeroradiometrijskog snimanja su kontinualni zapisi duž profila letenja i karte maršruta (profila). Ako analiziramo jedan kontinualni zapis možemo naći najmanje jedno mesto za koje se može postaviti pitanje da li je to vredno provere. Naravno analizom susednih profila i upoređivanjem zapisa sa geološkom kartom često smo u stanju da odgovorimo na to pitanje. Ali, ipak, ostaje određeni broj slučajeva kada to nije moguće. Ostaje, dakle, da se izvrši provera ili odbaci. Odbacivanje bez dovoljno jasnog obrazloženja otpada. Provera je dakle jedna od mogućnosti. To možemo učiniti detaljnijim radom u ponavljanju aerosnimanja, što je često neizvodljivo, ili proverom na zemlji. Ako želimo jedno ili drugo potrebno je da sve ovakve pojave ipak klasifikujemo po verovatnoći, a onda ćemo biti u stanju da sistematski i s puno opravdanja vršimo dalje radove na proveri.

Da bismo dobili merila o verovatnoći potrebno je najpre odrediti najverovatniju vrednost gama radioaktivnosti svake od geoloških formacija koje su ispitivane. Ovo se može postići računanjem srednje aritmetičke vrednosti gama radioaktivnosti te formacije. Pri tome je najbolje ako se obuhvate sve vrednosti koje su sigurno izmerene nad tom formacijom. Ovako dobijene vrednosti gama polja grupisane po najpogodnije izabranim klasama omogućavaju da se konstruiše kriva stvarne učestanosti pojedinih vrednosti gama radioaktivnosti na datoj geološkoj formaciji. Pri ostalim istim uslovima (metod rada, reljef, pokrivač) prostim upoređivanjem krivih stvarne učestanosti mogu se izvoditi i pretpostavke o sličnosti dveju geoloških formacija iz različitih terena, kao i o relativnom učešću pojedinih vrsta stena u izgradnji mlađih sedimenata oko njih. Ovakve analize neće, međutim, biti predmet ovog rada već ćemo se isključivo orijentisati na analizu aeroradiometrijskih podataka u cilju određivanja verovatnoće postojanja anomalija, čije su amplitude bliske fluktuaciji mernog instrumenta.

Kao što je napred rečeno pri ovoj analizi ćemo tretirati gama radioaktivno polje svake formacije posebno. Neka se pri tome tretiraju četiri litološka člana I, II, III, IV koji imaju različite sadržaje radioaktivnih kopmonenata. Neka je raspored ovih unutar formacija ravnomeran. U tim uslovima mi ćemo imati jedinstveno gama polje iznad te formacije ukoliko je teren ravan (poluprostor) i ukoliko se merenja vrše sa energetski jednako osetljivim instrumentima. U tom slučaju gama polje može biti sračunato u svakoj tački iznad površine po formuli:

$$J = \frac{2\pi kq\rho}{\mu_1}\Phi(\mu_2 H) = I_0\Phi(\mu_2 H)$$

Kad su u pitanju sredine imali bismo četiri ovakve vrednosti i to: J_I, J_{II}, J_{III}, J_{IV} koje bi se razlikovale međusobno ukoliko im se razlikuje gustina (ϱ), količina radioaktivnih materija (q), apsorpcioni koeficijenti (μ).

Ovako posmatrano sve ono što nije jednako ovim veličinama je anomalija radioktivnosti bilo u pozitivnom bilo negativnom smislu. Sračunavanje vrednosti gama polja po formuli u ovakvim slučajevima je neopravdano pošto uslov poluprostora pri merenju nije uvek ispunjen zbog uticaja reljefa što se bez analiziranja većeg broja proba ne može znati sadržaj radioaktivnih elemenata date stene, kao i zbog nehomogenosti pokrivača. Zato je jedna od realnih i prihvatljivih mogućnosti iznalaženja najverovatnije vrednosti (za bilo koje H) statističko određivanje pomoću mernih vrednosti. U ovom slučaju se biraju delovi površine date stene sa najmirnijim reljefom i približno istim pokrivačem, pa se sračunava srednja arimtetička vrednost, tj:

$$J_1 = \bar{X}_1 = \frac{\sum_{i=o}^{N} y_i}{N}$$

Tako dobijena vrednost je intenzitet gama radioaktivnosti, koji se najčešće može izmeriti nad datom vrstom stene. Ako želimo da analiziramo merene vrednosti najprihvatljivije je izvršiti ove analize kroz krive učestanosti pojedinih merenja (klasa merenja). Radi toga se vrši sračunavanje pro-

centualne zastupljenosti pojedinih klasa u ukupnom broju merenih vrednosti. Kriva učestanosti (sl. 1) može nam poslužiti, ukoliko je bliska krivoj normalnog rasporeda, kao kriva verovatnoće. Ako se sada usvoji pravilo za normalnu krivu da sva merenja koja padaju u domen tri standardne devijacije levo i desno od aritmetičke sredine pripadaju sa verovatnoćom od 99,7% u istu populaciju, onda bi sva merenja preko i ispod ovih granica bila anomalije sa istom verovatnoćom. Standardnu devijaciju, kao drugi važan elemenat u ovoj analizi, računamo po formuli:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=o}^{N} (\bar{x} - x_i)^2}{N}}$$

Ako usvojimo nivo od dve standardne devijacije onda je verovatnoća da su sve vrednosti iznad i ispod ovih granica (računato od aritmetičke sredine) anomalije ravna 95%; za interval od jedne standardne devijacije 64%. Ako se sada na osnovu ovih podataka izradi radiometrijska karta dobija se prostorni raspored svih anomalija kao i objektivna klasifikacija verovatnoće istih. Pri tome se mora usvojiti ekvidistanca između izorada u visini jedne, dve ili tri standardne devijacije, od čega će zavisiti broj verovatnih anomalija na datoj površini. U osnovi će se dobiti grupe anomalija koje treba proveravati bilo iz vazduha (detaljnim radom) bilo na zemlji, ako je to izvodljivo. Prednost ovakve obrade podataka je i u tome što su anomalije klasifikovane tako da se redosled proveravanja unapred zna. Pored toga, upoređujući ovako dobijene radiometrijske karte sa geološkom građom i mogućnostima orudnjenja moguće je osloniti se na proveru jedne anomalije iz čitave grupe sličnih po mestu javljanja. Ipak, ostaje kao bitno da se na ovaj način dobija određeni broj lokalnosti, koje zahtevaju provere, pored onih jasno uočenih u toku pregleda zapisa i radiometrijske karte i bez obzira na geološke granice.

PRIMER PRIMENE

U toku 1958. godine izvršena je aeroradiometrijska prospekcija područja Bukulje na osnovu tada postojeće geološke karte, i to isključivo u domenu granita. Usled nepreciznosti geološke karte (konstatovane upoređivanjem sa kasnije urađenim kartama), zapadni deo granita ostao je neispitan, dok su sedimenti na jugu i paleozojski omotač na istoku zahvaćeni ispitivanjem, što inače nije bilo u planu. Na osnovu interpretacije rezultata došlo se do zaključka da je jedina anomalija koju treba proveravati Paun stena (A). Kasniji radovi su otkrili niz drugih anomalija kako u sedimentima tako i u granitima. Ovim je cilj istraživanja postignut, jer je ukazano na potencijalno područje, kao i na jednu određenu tačku. Međutim, analiza koju smo izvršili, upravo ovih merenja, dala je još četiri anomalije iste verovatnoće postojanja i to: B, C, D, E.

Kako se na sl. 3 može jasno videti anomalija B nije usamljena već je u istočnom pravcu praćena nizom anomalija manje verovatnoće. Obavljeni radovi na anomaliji A pokazali su da se tu radi o zdrobljenoj zoni pravca pružanja približno istok — zapad koja je mineralizovana na velikoj dužini. Može se, dakle, reći da je niz anomalija radioaktivnosti počev od anomalije B prema istoku površinska manifestacija ove zone.

Anomalija radioaktivnosti E nedvosmisleno pada u polje tercijarnih sedimenata, što znači da se na osnovu toga moglo zaključiti da su ovi sedimenti perspektivni u pogledu uranonosnosti.

Na zapadnim delovima granitskog masiva nema nijedne anomalije radioaktivnosti sa najvišom verovatnoćom postojanja, ali je zato broj anomalija niže verovatnoće veći i pored toga što je samo delimično izvršeno ispitivanje.

Opravdano se može, za dati primer, postaviti pitanje da li postoje bitne razlike između konfiguracije karte izolinija, dobijene ranijom interpretacijom, bez uzimanja u obzir najverovatnijih vrednosti gama polja nad pojedinim litološkim članovima terena i konfiguracije karte izolinija dobijene na predloženi način. Razlika nije velika, jer se sve, predloženim načinom izdvojene anomalije nalaze na mestima gde se i na prvoj karti (sl. 2) mogu uočiti maksimumi gama radioaktivnosti. Međutim, na drugoj karti (sl. 3) dobili smo pouzdanije određenije anomalije, a što je isto tako važno, dobili smo merilo verovatnoće postojanja tih anomalija. Ni jedno ni drugo nismo mogli dobiti na osnovu prve karte.

Zašto je ipak velika sličnost između ovih karata, može se objasniti i jednom čisto tehničkom poteškoćom, koja se inače može izbeći.

Naime, dati primer je rađen na osnovu sračunatih vrednosti gama polja duž linije letenja. Sračunavanje je izvedeno pomoću krive promene radioaktivnosti sa visinom. Broj impulsa dobijen u određenoj tački je množen sa koeficijentom koji zavisi od visine letenja u datoj tački. Pri tome se ovo sračunavanje vršilo na određenim jednakim rastojanjima duž profila. Jasno je da se pri ovom sračunavanju, koje se (što je vrlo važno) odnosi na jednako međusobno udaljene tačke po profilu, moralo vršiti zaokruživanje vrednosti i to na ceo broj, tj. ceo mikrorentgen na čas.

Istovremeno su vršena i sračunavanja gama radioaktivnosti u tačkama duž profila bez obzira na gore pomenuti sistem tačaka, na kojima je uočeno povećanje ili smanjenje radioaktivnosti. Izbor tačaka za očitavanje zavisi u velikoj meri od subjektivne ocene. I na ovim međutačkama je vršeno sračunavanje na isti način.

Dakle, jedan od razloga opšte sličnosti dveju karata je ležao i u tome što se pošlo od sračunatih vrednosti, koje su zaokruživane, pri čemu je zanemarivana ili odbacivana određena veličina, s jed-

ne strane, i što su se podaci odnosili na vrednosti gama radioaktivnosti u tačkama, s druge strane. Razlika bi bila svakako daleko veća ako bismo izvršili interpretaciju radnog zapisa direktno i na čitavoj dužini. Direktna interpretacija u Imp/s je sasvim izvodljiva. Međutim, interpretacija na čitavoj dužini je neizvodljiva zbog toga što visina varira duž profila. Zbog toga se ovaj primer ne može smatrati tipičnim, iako je dat da bi se ilustrovala čitava tehnika interpretacije.

U suštini pri sračunavanju na određenim tačkama greška je jednaka zaokruženju, a ovaj iznos može u datom slučaju biti veći i od anomalije. Sem toga mi se pri ovom radu svesno odričemo kontinualne analize delova zapisa između tačaka sračunavanja, tj. pretpostavljamo linearnu promenu, što je mnogo važnije, jer na međurastojanja tačaka otpada daleko veći deo zapisa nego na delove koji su uzeti u obzir. Znači ostaju dve mogućnosti ili korišćenje podataka parcijalno samo sa onih delova zapisa gde je visina jednaka, što nije prihvatljivo, jer se ne mogu ni izdaleka svi rezultati koristiti, ili da se sračunavanje vrši automatski, pri čemu bi se izbeglo zaokruživanje, te i ako bi imali grešku ona bi bila sistematska, tj. praktično ne bi uticala na izgled zapisa, već samo na njegov položaj na hartiji samopisača.

Predloženi način interpretacije rezultata aeroradiometrijske metode ispitivanja bi bio u punoj meri koristan samo ako vršimo sračunavanja i kasnije izdvajanja anomalija direktno na radnom zapisu za koji nije potrebno svođenje ili uopštavanje vrednosti, što je sada slučaj u našoj praksi.

U tabeli je prikazan način sračunavanja najverovatnije vrednosti za paleozoik Bukulje, učestanosti pojedinih klasa radioaktivnosti i standardne devijacije merenja.

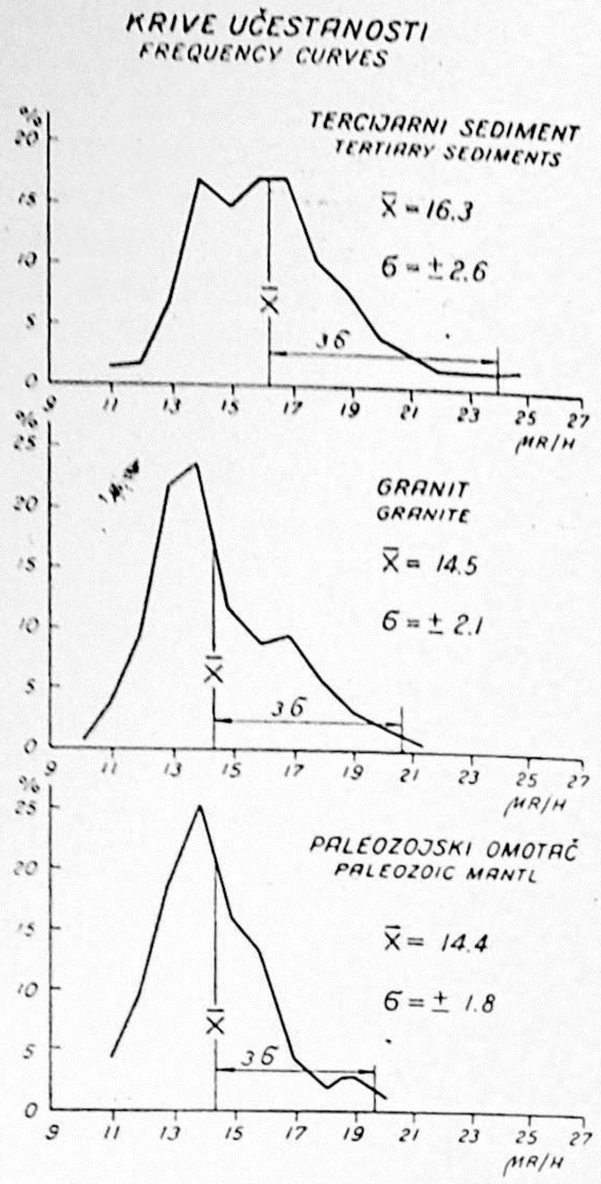
Klasa	n	%	n x klasa	ΔI	ΔI²	ΔI² x n
11	4	4,5	44	—3,4	11,6	46,4
12	9	10,0	108	—2,4	5,7	51,3
13	17	18,9	221	—4,4	1,96	33,2
14	23	25,5	332	—0,4	0,16	3,7
15	15	16,6	225	+0,6	0,36	5,4
16	12	13,3	192	+1,6	2,56	32,0
17	4	4,5	68	+2,6	6,75	27,0
18	2	2,2	36	+3,6	13,00	26,0
19	3	3,0	57	+4,6	21,20	64,0
20	1	1,1	20	+5,6	31,20	20,0

$\Sigma n = 90 \qquad \Sigma n \times cl = 1293 \qquad \Sigma n \times (\Delta I)^2 = 309 \cdot 0$

$$\bar{x} = \frac{1293}{90} = 14{,}4 \qquad \sigma = \sqrt{\frac{309}{90}} = \pm 1.8$$

Isti postupak je primenjen i za ostale litološke članove. Na taj način dobijene su krive učestanosti klasa radioaktivnosti prikazane na sl. 1. Analizirajući sl. 1 vidimo sledeće:

a) paleozojski omotač, koji je intrudovan granitom, je najravnomernije radioaktivnosti, tj. najhomogeniji u pogledu sadržaja radioaktivnih ele-



Sl. 1 *Fig. 1*

menata. S obzirom da se radi o filito-mikašistima radioaktivnost im je relativno visoka;

b) graniti pokazuju nehomogeni sastav, tj. postoje najmanje dva osnovna tipa radioaktivnosti (moguće dve faze) i to jedan od 13 — 15 i drugi od 16 — 18 μR/h, ili kao alternativa ovoj mogućnosti prisustvo procesa koji su jedan deo granita naknadno obogatili uranom;

c) tercijarni sedimenti su izgrađeni od stena, čiji radioaktivni tipovi odgovaraju granitima i omotaču granitskog masiva. Kao i nekom trećem izvoru radioaktivnosti (naknadno unet uran u sedimente). Ova pretpostavka dobija poseban značaj pri povezivanju sa sigurno izdvojenom anomalijom E u sedimentima. Na ovo pored oblika krive upućuje i visoka najverovatnija vrednost radioaktivnosti za tercijarne sedimente.

Analizirajući dalje sl. 3 (karta verovatnih anomalija radioaktivnosti) dolazimo do sledećih zaključaka:

a) centralni deo granitskog masiva (istočno od kote 482) je najmanje radioaktivan (najviše razoren ili faza granita niže radioaktivnosti), ili nezahvaćen naknadnim procesima obogaćivanja;

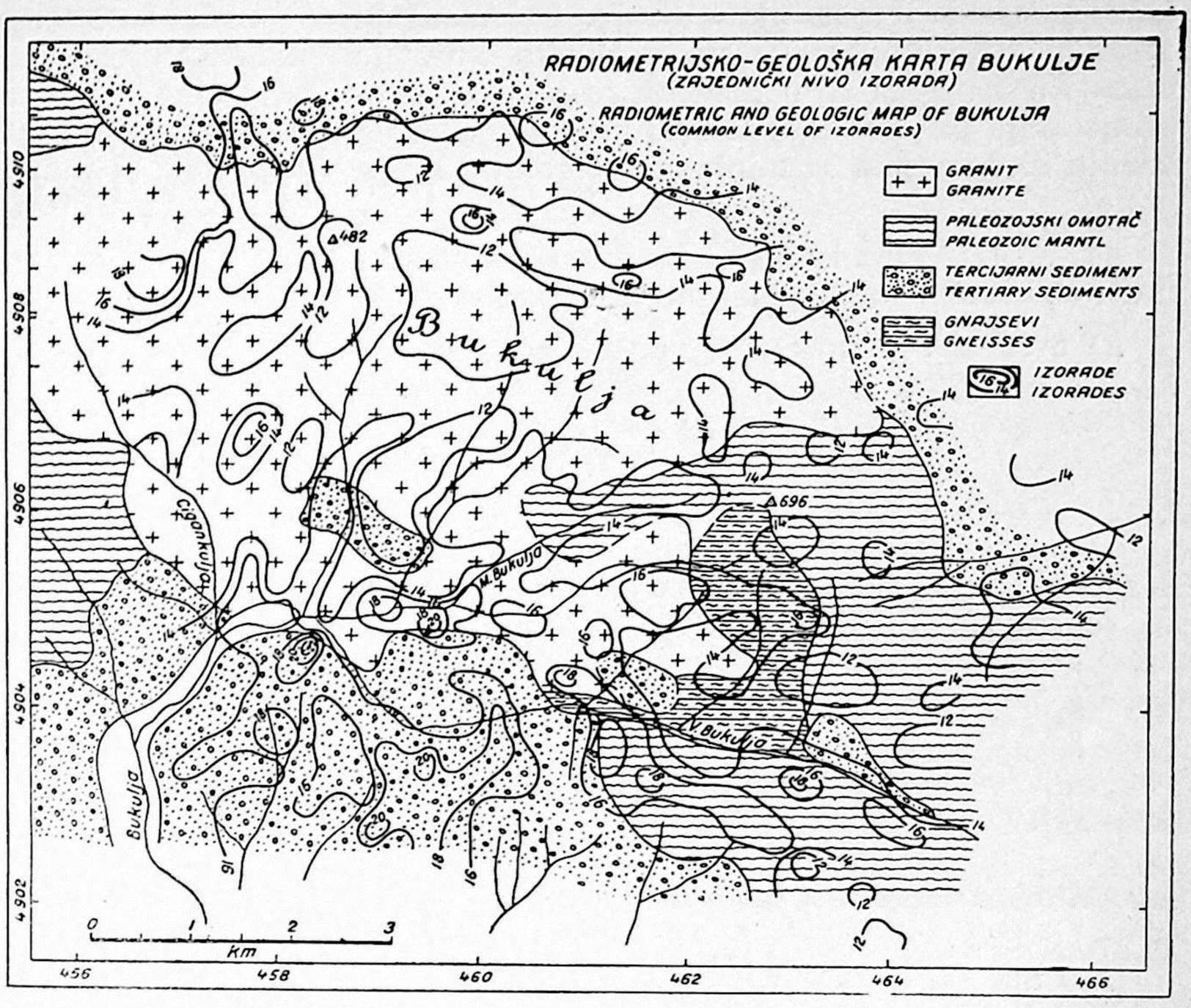
b) južni obodni delovi granita su radioaktivniji od severnih, što bi moglo značiti da severni delovi nisu obod prvobitnog granitskog masiva, već da se taj obod nalazi severnije;

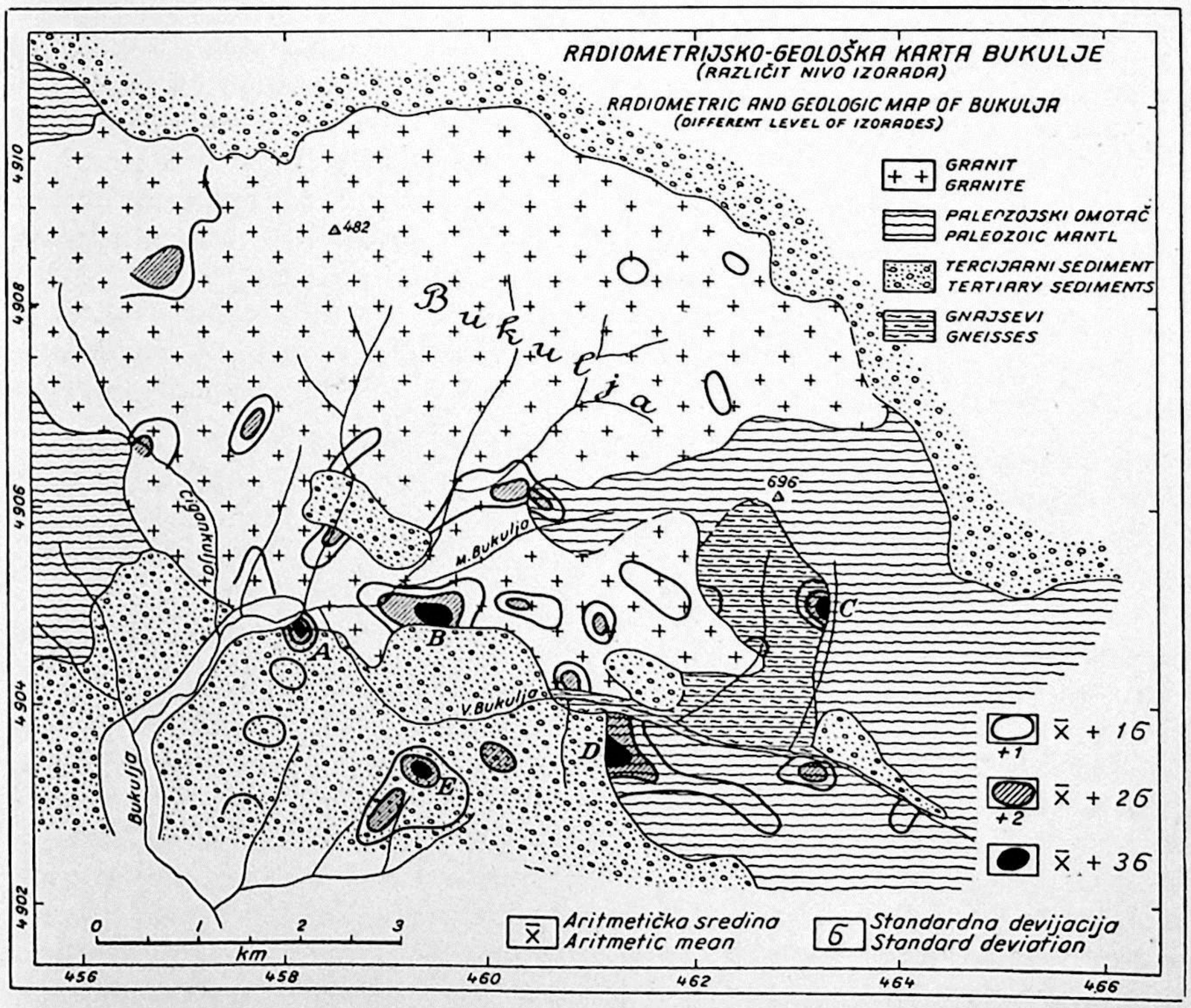
c) visoka radioaktivnost J i JZ dela se može tumačiti i naknadnim unošenjem radioaktivnih materija u ovaj deo masiva ili facijalnom razlikom ovih granita od ostalih.

Kako se vidi direktnih jednoznačnih zaključaka, isključivo na osnovu analize aeroradiometrij-

Sl. 2

Fig. 2





Sl. 3

Fig. 3

skih podataka, ima manje nego dvo i višeznačnih rešenja. Međutim, po našem mišljenju, stvar je upravo u tome da se u domenu regionalne aeroprospekcije postave mogućnosti koje se onda dokazuju ili opovrgnu sa minimumom radova druge vrste.

Što se tiče obrade podataka gama radioaktivnosti (kontinualnog zapisa) može se reći sledeće:

a) predloženim načinom obrade podataka bi se vršila interpretacija čitavog zapisa, a ne samo određenog broja tačaka na njemu, čime bi se dobila realnija slika gama radioaktivnog polja svake formacije ponaosob;

b) u granicama jedne formacije bi se dobile sve zapisane anomalije radioktivnosti, bez obzira na veličinu amplitude, s tim što bi bile klasifikovane po verovatnoći u slučajevima kad se radi o jednoj populaciji;

c) uz korišćenje automatskog svođenja zapisa radioaktivnosti na istu relativnu visinu izbegla bi se greška sračunavanja gama radioaktivnosti i istovremeno omogućilo interpretiranje čitavog zapisa, koje bi se moglo vršiti i direktno u impulsima u sekundi, što bi omogućilo veće mogućnosti diferenciranja i upoređivanja.

LITERATURA

1) Spengler G. R., 1957: Airborn and ground reconnassance the Tomichi dome area, Gunnison county, Colorado.USAEC, Denver, Colorado.
2) Gramakov G.A., 1957: Radiometričeskie metodi poiskov i razvedki uranovih rud. Gosgeoltehizdat, Moskva.
3) Petrović M., 1959: Izveštaj o aeroprospekciji urana na Bukulji. Fond stručne dokumentacije ZNS, Beograd.
4) Simić V., 1961: Radiometrijska prospekcija nafte i gasa u oblasti Kikinda. Fond stručne dokumentacije SGZ, Beograd.

SUMMARY

A CONTRIBUTION TO AIRBORN RADIOMETRIC MEASUREMENTS INTERPRETATION

VLADAN SIMIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

In the interpretation of the results of aeroradiometric measurements until now, we used the method of visual inspection and finding out of gamma intensity maxima, also we have determined the half amplitud width and general form of the maxima in order to get idea about the type of source. By comparison of data with geological condition of local environment one can get the conclusion about the cause of a given maximum (anomalie).

Further step in evaluation and interpretation was usualy the calculation of the gama intensity for one level (usualy the earth surface or one meter above it), or better to say for one distinct surface such as surface of earth. The calculation s were made on the basis of measured intensity and relative hights of detector above that surface. It is done at points of the same spacing along the profil. The calculation of intensity on the arbitrary surface was made also for any distinct "high" and "low", no matter where they were on the profil. So we leave uncalculated and uninterpreted large part of obtained curve with flat general appearance. In order to get anomalies with values of order of magnitud, or slightly higher or lower than the fluctuation of measurements we have to finde a useful means. It could be, by our opinion, the statistical evaluation of results for each geologic formation separatly.

In this paper we are speaking about an attempt to make calculation and interpretation of the results by means of statistical analises. We presented an example of such interpretation in this paper.

DUSAN RADUSINOVIC

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

OTKRIĆE URANINITA NA PLANINI BUKULJI

Na planini Bukulji prvi put je, ovim ispitivanjima, nađen uraninit, koji se javlja u tri petrografski i genetski različita tipa stena i to: granitima, pegmatitima i peščarima.

Uraninit u granitima je zapažen samo prilikom detaljnih mineraloških ispitivanja kao akcesorni sastojak u dvoliskunskom i biotit granitu.

Uraninit je otkriven samo u onim pegmatitima koji se nalaze u omotaču granita. On je u njima nešto više zastupljen, tako da su se mogla preduzeti detaljna mineraloška ispitivanja na osnovu kojih je utvrđeno da se ovaj uraninit javlja vrlo svež, hemijski veoma čist (U-82,11%, Pb-1,97%, Th ispod 0,1%), da je bez elemenata retkih zemalja i paragenetski vezan sa kvarcno-turmalinskom asocijacijom. Na osnovu njegovih paragenetskih odnosa sa ostalim mineralima ove asocijacije, kao i na osnovu mineralnog sastava pegmatita može se pretpostaviti da je stvaran na nižim temperaturama pegmatitske faze, koje čine prelaz ka pneumatoliltskim.

U peščarima tercijarne starosti, uraninit se javlja kao njihov detritični sastojak, poreklom iz granita i pegmatita. Mineralna zrna uraninita, a takođe i ostali mineralni sadržaj peščara, je sa oštrim ivicama i slabo sortiran kao rezultat kratkog transporta i priobalskih uslova taloženja.

Apsolutna geološka starost urađena je samo za uraninit iz pegmatita i dobijena vrednost od 165 miliona godina.

Za poslednje dve godine oblast planine Bukulje bila je predmet intenzivnih geoloških proučavanja kao i rudarskih istraživanja u cilju nalaženja rudnih ležišta nuklearnih mineralnih sirovina. Kao rezultat toga rada otkriveno je više uranskih pojava i ležišta, koji su opisani u publikaciji S. Višića (1961). Međutim, u ovoj oblasti do sada nisu još nigde bili nađeni primarni minerali urana.

Početkom 1961. godine terenska ekipa je dostavila izvestan broj primeraka za petrografsku determinaciju. Prilikom obrade tih primeraka jedan od njih, pegmatitskog izgleda, pokazivao je povećanu radioaktivnost, te su na njemu urađena i mineraloška ispitivanja da bi se odredio radioaktivni mineral.

Na tom materijalu rudno-mikroskopskim ispitivanjima autor je otkrio, prvi put na planini Bukulji, prisustvo uraninita. Kasnijim ispitivanjima nađen je uraninit u nekoliko primeraka granita, kao i u tercijarnim sedimentima u neposrednoj blizini granitskog masiva.

Prilikom istraživanja nuklearnih sirovina u našoj zemlji uraninit je do sada nađen samo u nekoliko lokalnosti, ali ove pojave nisu još publikovane, tako da će ovaj rad biti od regionalno-mineraloškog interesa, a takođe će doprineti i potpunijem poznavanju uranonosnosti planine Bukulje i raznovrsnosti genetskih tipova mineralnih i rudnih pojava urana u vezi sa granitskim magmatizmom u ovoj oblasti.

KRATAK PRIKAZ GEOLOGIJE OBLASTI

U ovoj oblasti mnogi istraživači vršili su geološka proučavanja, počevši od J. Žujovića (1893), S. Uroševića (1899 i 1900), V. Laskareva (1922, 1930, 1932) M. Kojića (1930), V. Mikinčića (1933 i 1935), M. Pavlovića (1935) pa do M. Ilića (1948), S. Miholića (1950) i najnovijih radova S. Divljana (1955, neobjavljeno i 1961 — u štampi), S. Maksimovića (1961), D. Naumovića (1962, neobjavljeno), S. Višića (1961) i S. Pavlovića — M. Ristića (1961, neobjavljeno). U ova dva poslednja rada nalaze se i rezultati ispitivanja većeg broja saradnika Zavoda za nuklearne sirovine, koji su uzeli učešća u radu istraživačkih ekipa na terenu ili su vršili laboratorijska ispitivanja.

U starijim publikacijama najviše mineraloško-petrografskih podataka ima kod S. Uroševića, a geološko-tektonskih u radovima V. Laskareva. M. Ilić daje podatke o pegmatitima, a S. Divljan o granitoidnim stenama Bukulje. S. Miholić je odredio apsolutnu geološku starost granita od 185 miliona godina. S. Višić prikazuje rezultate istraživanja terenske ekipe i mogućnost primene pojedinih geofizičkih metoda za otkrivanje rudnih ležišta nuklearnih sirovina, dajući i opis pojava i ležišta urana u ovoj obalsti. U radu S. Pavlovića i M. Ristića o nekim granitima Jugoslavije dati su i podaci o petrografskim, geohemijskim, metalogenetskim i tektonskim karakteristikama bukuljskog granita.

Oblast planine Bukulje pripada tektonskoj jedinici unutrašnjeg dinarskog pojasa. U stvari ona predstavlja istočni nastavak valjevskog paleozojskog antiklinorijuma (S. Pavlović — M. Ristić 1961). Osnovu terena čine kristalasti škriljci starijeg i mlađeg paleozoika, verovatno devonske i karbonske starosti. Od njih najveće rasprostranjenje imaju filiti, dok su gnajsevi i mikašisti znatno manje zastupljeni. Za gnajseve se smatra da su nastali feldspatizacijom škriljaca (S. Divljan 1955, neobjavljeno). U filitima se javljaju argilošisti, hloritski i sericitski škriljci, kvarciti i mermeri.

Za vreme hercinske orogeneze ova oblast je zahvaćena intenzivnim tektonskim pokretima koji su uslovili stvaranje bukuljske antiklinale. U toj antiklinalnoj strukturi sinorogeno je intrudovan granit (S. Pavlović — M. Ristić 1961).

Granitska intruzija je izazvala intenzivne kontaktno-metamorfne promene u okolnim stenama. Kao rezultat tog metamorfizma stvoreni su pirokseniti, granatiti, amfiboliti, volastonititi i korniti, a u dubljim nivoima izvršena je i intenzivna feldspatizacija škriljaca (S. Pavlović — M. Ristić 1961).

Graniti su otkriveni erozijom na površini od oko 40 km² i odgovaraju uglavnom normalnom leukokratom granitu. Ređe su zastupljeni kiseliji, odnosno bazičniji tipovi. Graniti su sledećeg mineralnog sastava: ortoklas, kiseli plagioklasi, retko andezin, kvarc, biotit i muskovit od bitnih sastojaka; granat i turmalin od sporednih i monacit, sfen, cirkon, kasenotim, apatit i torit od akcesornih minerala.

Od žičnih stena javljaju se pegmatiti, apliti, kvarcno-feldspatske i kvarcne žice. Ove žične stene se nalaze ili u samom granitskom telu ili u njegovom kristalastom omotaču.

Pegmatiti i apliti sadrže uglavnom ortoklas, ali ima i albitskih tipova. Od bojenih sastojaka sadrže muskovit i veoma retko biotit. Vrlo često se u njima javljaju turmalin i granat, a u nekim pegmatitima i nešto berila.

Bukuljska antiklinala je kasnijim tektonskim zbivanjima izrasedana i duž nekih od tih dislokacija je došlo do spuštanja, tako da ona sada predstavlja horst. Rasedima su zahvaćeni ne samo obodni nego i centralni delovi, naročito u vreme delovanja alpske orogeneze. Spuštanje duž dislokacija omogućilo je kasnije stvaranje mlađih mezozojskih i tercijarnih sedimenata preko paleozojskih škriljaca.

Mezozojske tvorevine su predstavljene krednim sedimentima flišne facije i to: laporcima, krečnjacima i peščarima.

Tercijarni sedimenti su od konglomerata, peščara i glina paleogene starosti.

U ovoj oblasti do sada nisu nađena rudna ležišta metala, izuzev već pomenutih pojava, i ležišta urana.

OPSTE KARAKTERISTIKE POJAVA URANINITA

Uraninit se javlja u tri petrografski i genetski različite vrste stena, pa se prema tome mogu izdvojiti i tri tipa pojava i to:

a) uraninit kao akcesorni sastojak u granitima;

b) pojave uraninita sa kvarcno-turmalinskom asocijacijom u pegmatitima;

c) uraninit kao detritičan materijal u peščarima.

Uraninit u granitima

Uraninit je nađen kao akcesorni mineral u svega nekoliko primeraka dvoliskunskog i biotit granita. Lokalnosti su označene na karti (sl. 1). Određen je rudno-mikroskopskom analizom na zdrobljenim i separisanim primercima granita, dok na uglačanim preparatima stene nije bio zapažen, jer je zastupljen u neznatnim količinama. Radi toga ga nije bilo moguće detaljnije proučiti niti pratiti njegove paragenetske odnose prema petrogenim kao i prema drugim rudnim mineralima. Sa uraninitom su rudno-mikroskopskom analizom nađeni još i sledeći metalični minerali: pirit, halkopirit, tetraedrit, galenit, pirhotin, arsenopirit (samo u biotit granitu), bornit (samo u dvoliskunskom granitu), ilmenit, hematit, magnetit, markasit, kovelin, halkozin i limonit.

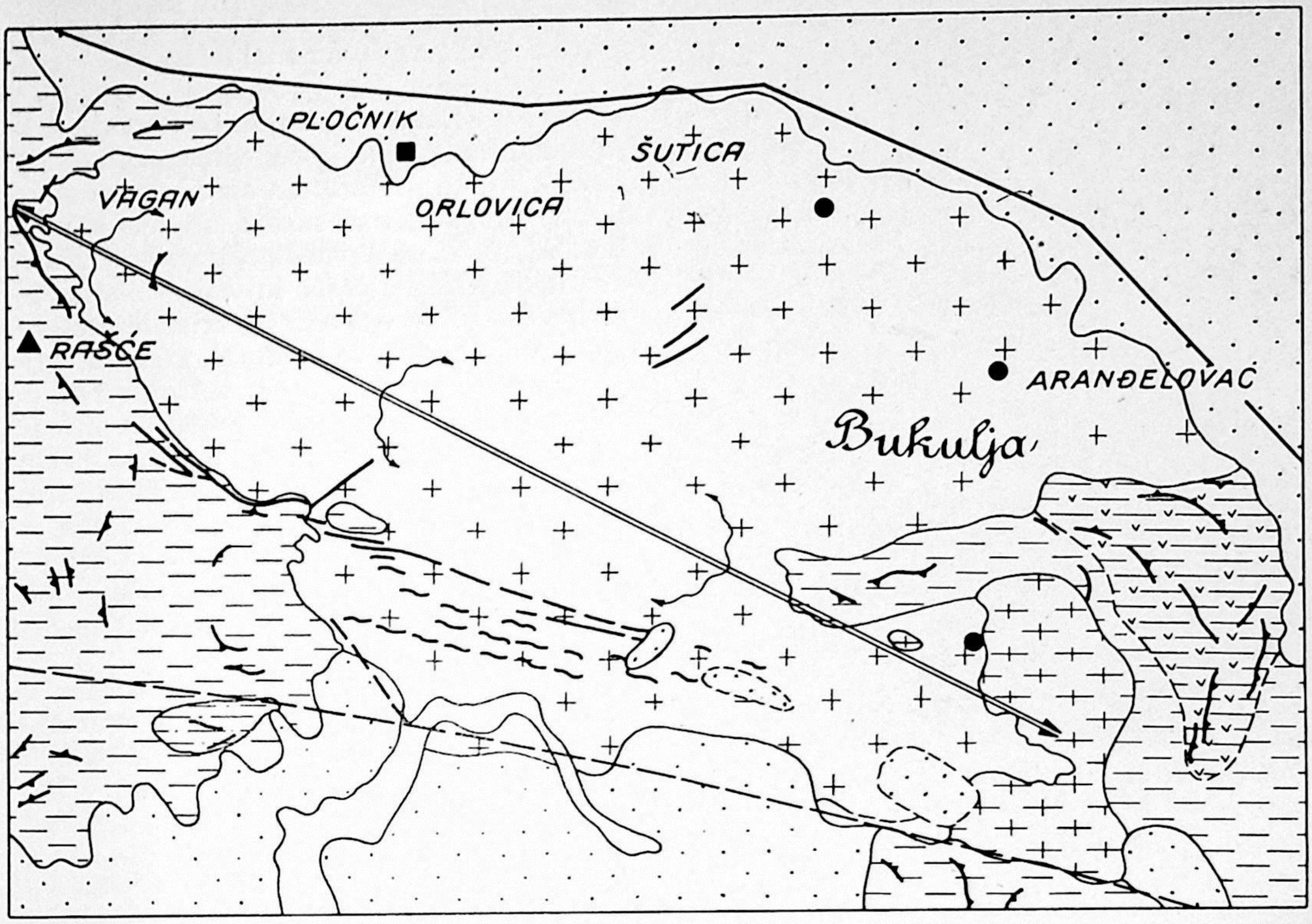
Uraninit se javlja u vidu sitnih obično idiomorfnih kristala, a i u zrnima nepravilnih oblika.

Međutim, on je toliko redak, da su ove minimalne količine bile nedovoljne da se preduzmu detaljnija ispitivanja mineraloških karakteristika uraninita iz ovih granita.

Pojave uraninita u pegmatitima

Uraninit je nađen u pegmatitima na JZ padinama Vagana (kota 473) u jednom od izvorišnih krakova potoka Onjeg. Bliža lokalnost se naziva Rašće i označena je na karti (sl. 1). On se nalazi u pegmatitima koji se javljaju u obodu granitskog masiva. Pegmatiti su diskordantni u odnosu na pravac folijacije kristalastih škriljaca. Škriljci u kojima su neposredno nađeni pegmatiti sa uraninitom odgovaraju mikašistima.

Mikašisti su izrazito škriljave teksture, a u njihov mineralni sastav ulaze kvarc, biotit i muskovit kao bitni sastojci, zatim ima prilično andaluzita i granata, nešto malo staurolita, turmalina i cirkona, a vrlo retko i to samo po neki kristal feldspata, apatita, sfena, epidota i hlorita i najzad vrlo malo metaličnih minerala magnetita, ilmenita, pirita, pirhotina i halkopirita. Pirhotin se javlja



Sl. 1 — Geološka karta Bukulje sa oznakama lokalnosti u kojima je nađen uraninit. 1. graniti; 2. gnajs; 3. paleozoik; 4. kontaktno-metamorfna zona; 5. tercijar; 6. pravac folijacije; 7. rasedi; 8. rasedna zona; 9. pravac pružanja i tonjenja ose antiklinorijuma; 10. uraninit u granitima; 11. uraninit u pegmatitima; 12. uraninit u peščarima

Fig. 1 — Geological map of the area of Bukulja Mountain, showing the localities in which the uraninite has been observed

u petrogenim mineralima isključivo u vidu inkluzija veličine ispod 20 mikrona, a halkopirit u inkluzijama u pirhotinu i u piritu.

Pegmatit sa uraninitom je vrlo bogat turmalinom koji je i najkrupniji sastojak ove stene. Moćnost ovih žica je različita, ali obično od 20 cm do 1 m. U žicama sa većom moćnošću jasno se zapažaju aplitoidne partije, zatim kvarcno-turmalinski i najzad čisto kvarcni delovi, ali bez nekih pravilnosti i uočljive zonarnosti.

Aplitoidni delovi žice su sitnozrni, mestimično se na njima primećuje škriljava tekstura i gotovo su bez bojenih sastojaka izuzev nešto malo muskovita. Pored muskovita oni sadrže u znatnim količinama kvarca, a zatim ima i nešto feldspata — albita, dok su ostali minerali kao granat, apatit i biotit retki, a turmalin, amfibol, epidot, cirkon i sfen vrlo retki. Do sada u ovim aplitoidnim delovima nije još nigde nađeno prisustvo uraninita. Na osnovu ovih podataka, kao i posmatranjem strukturnih odnosa prorastanja minerala, može se izvesti zaključak da su ove aplitoidne partije stvorene pre kvarcno-turmalinske asocijacije sa uraninitom.

Kvarcno-turmalinska asocijacija je krupnozrna i prožmala je i ispresecala aplitoidne partije pegmatitske žice, tako da ponekad daje steni brečoidnu strukturu, a ponekad gradi i žilice u njoj (sl. 2). Da je ova asocijacija deponovana u sukcesiji nešto kasnije od aplitoidne ukazuje i način javljanja kvarca, koji je u obe ove asocijacije najzastupljeniji mineral, ali se jasno vidi da se tu radi o dve njegove generacije: prva — sitnozrna i bezbojna u aplitoidnim delovima i druga —



Sl. 2 — Pegmetit sa uraninitom. Aplitoidni delovi — beli, kvarcno-turmalinska asocijacija — sivocrna (kvarc) do crna (turmalin). Makrofotografija jedna polovina prirodne veličine

Fig. 2 — Pegmatite with uraninite. Aplitic parts — white, quartz tourmaline associations — dark gray (quartz) to black (turmaline)



Sl. 3 — Pegmatitska žica sa kvarcnim delom u salbandi. 1. gnajs; 2. pegmatit; 3. kvarcni deo

Fig. 3 — Pegmatite with a quartz lens

krupnozrna, tamnije sivocrna do delimično čađava u delovima žice sa turmalinom.

Kvarcni delovi javljaju se u salbandi pegmatitskih žica i sastoje se gotovo isključivo od kvarca u kome se još mogu naći i tragovi muskovita. Ovi kvarcni delovi su obično sočivastog oblika i dostižu moćnost do maksimum 20 cm (sl. 3).

Mineraloške karakteristike i parageneza uraninita

Prema svim dosadašnjim ispitivanjima uraninit je nađen isključivo u delovima pegmatitskih žica sa kvarcno-turmalinskom asocijacijom. Ova mineralna parageneza se sastoji od relativno krupnih kristala turmalina veličine nekoliko santimetara, ali obično su najčešći kristali veličine 2—3 cm, zatim od prilično krupnih kristala kvarca, nešto malo muskovita, feldspata i granata, vrlo malo apatita, epidota i cirkona, sekundarnih minerala sericita i hlorita i rudnih minerala uraninita, pirita, halkopirita, pirhotina, markasita, kovelina i limonita. Rudni minerali su vrlo retki i nepravilno su rasuti po steni, obično u kristalima neznatne veličine od nekoliko desetina mikrona. Jedino su pirit i uraninit vidljivi makroskopski, dok su svi ostali rudni minerali konstatovani samo prilikom mikroskopskih ispitivanja.

Turmalin je najzastupljeniji mineralni sastojak. Njegovi kristali su zonarni i čisto ispucali, a pukotinice zapunjene sekundarnim kvarcom. Javlja se kao običan normalan mrki turmalin i kao mrkozeleni do plavi i najzad kao plavi varijetet — indigolit. U turmalinu su česte inkluzije rudnih minerala uglavnom pirhotina, a ređe pirita.

Kvarc je, takođe, jedan od najzastupljenijih minerala u asocijaciji. Tamne je boje, mestimično sivocrn i odgovara varijetetu morionu. Krupno kristalast je, mestimično kataklaziran, a neki kristali se i undulatorno pomračuju.

Feldspati su sveži i samo neznatno mestimično zamućeni i slabo sericitisani. Odgovaraju albitu i količinski su znatno podređeni u odnosu na ostale petrogene minerale.

Muskovit je dosta redak i javlja se nepravilno raspoređen po steni. Krupnozrn je i potpuno svež, a samo mestimično pokazuje tragove mehaničkih deformacija, koje se manifestuju povijanjem njegovih liski.

Granat je dosta čest, javlja se u lepo razvijenim idiomorfnim kristalima i odgovara almandinu.

Epidot je veoma redak, nije primećen u petrografskim preparatima, već je nađeno svega nekoliko njegovih kristala prilikom detaljne analize zdrobljenih primeraka stene.

Cirkon je redak. Javlja se u dve generacije: kao sitnozrn, veličine kristala ispod 50 mikrona i tada je bistar i bezbojan i druga generacija gde je krupnozrniji, veličine kristala do 3 mm. Cirkon ove druge generacije je delimično metamiktiziran a u neposrednom kontaktu sa uraninitom i potpuno prešao u metamikt stanje. Ovi kristali su zamućeni, mrkožute i mrkozelene boje.

Apatit je sitnozrn i veoma redak.

Pirit je količinski najzastupljeniji rudni mineral. Javlja se u nepravilnim zrnima ali ga ima i idiomorfno razvijenog u kristalnim formama kocke. Vrlo često se duž pukotine ili po obodu



Sl. 4 — Uraninit — tamnosiv, sa inkluzijom pirhotina — sivobela, koja se pretvara u pirit — beo. Uglačan preparat. Imerzija. Uvećanje 1700 ×

Fig. 4 — Uraninite (dark gray) with the inclusion of pyrrhotite (gray) partialy altered into the pyrite (white). Polished section. Immersion, magnification, 1700 ×

zrna pretvara u limonit, a mnogo su ređa njegova pretvaranja u markasit. Javlja se u vidu inkluzija u uraninitu, ali vrlo retko, i tada je ponekad u asocijaciji sa pirhotinom, čijim je pretvaranjem i postao.

Našim ispitivanjima mogli smo izdvojiti tri generacije pirita: prva — u kojoj se on javlja u kristalnim zrnima idiomorfnih oblika, gde je veličina kristala uglavnom oko 2 mm; druga — gde je pirit nepravilnih oblika ili kao pseudomorfoza po pirhotinu, dakle nastao kao produkt pretvaranja pirhotina i treća — u kojoj je pirit stvoren dejstvom supergenih procesa u redukcionim uslovima i tada se nalazi duž pukotinica kao i po obodu zrna petrogenih minerala.

Druga generacija pirita je najzastupljenija i u njoj se često nalaze zaostaci pirhotina.

Pirit se mestimično pretvara u limonit, a delimično mada znatno ređe, i u markasit.

Halkopirit je vrlo redak. Nađeno je svega nekoliko njegovih kristalnih zrna, koja su rasuta između petrogenih minerala i nigde nisu zapažena njegova prorastanja sa ostalim rudnim mineralima. Veličina halkopiritskih zrna je obično 0,5 × 0,25 mm. Mestimično se po obodu zrna pretvara u kovelin.

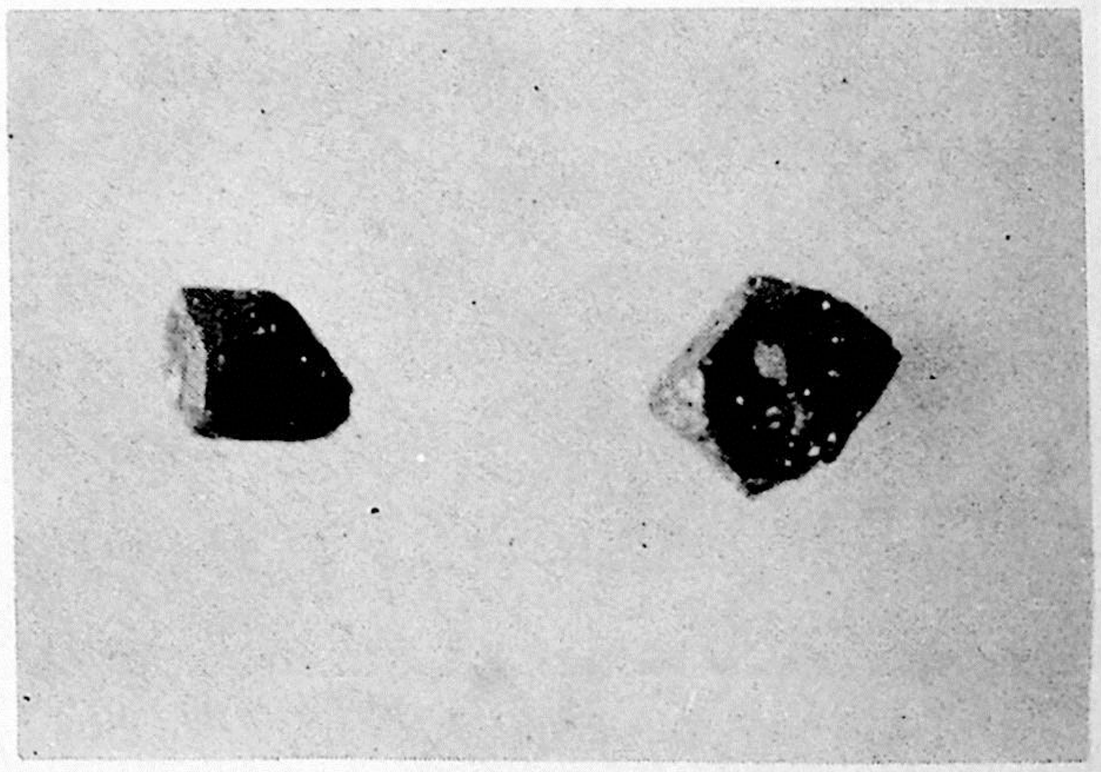
Pirhotin se javlja vrlo retko i jedino u vidu inkluzija kako u rudnim tako i u petrogenim mineralima. Nalazi se u ovalnim, ređe prizmatičnim zrnima. Verovatno da je on bio znatno više zastupljen i da je kasnije najvećim delom prešao u pirit. Pirhotin se često sačuvao u vidu ostataka po piritu. Proces pretvaranja pirhotina u pirit naročito se jasno zapaža na nekim njegovim inklzijama u uraninitu (sl. 4). Sem u uraninitu pirhotin je često u inkluzijama po piritu, kao i u petrogenim mineralima, a naročito u turmalinu.

Markasit je nađen samo u asocijaciji sa piritom kao produkt njegovog pretvaranja. Javlja se vrlo retko i to po obodu kristalnih zrna pirita.

Kovelin se javlja jedino kao produkt pretvaranja halkopirita i to su vrlo retke i neznatne pojave. Kovelin je količinski najmanje zastupljen od svih rudnih minerala u ovoj paragenezi.

Limonit je dosta čest i javlja se u vidu pseudomorfoza po piritu. Najvećim delom je postao pretvaranjem idiomorfne generacije pirita, gde je proces pretvaranja išao duž pukotina kao i po obodu kristala. On se javlja još i u vidu skrama duž cepljivosti, a i po obodu petrogenih minerala.

Uraninit se javlja u samostalnim kristalima i po količinskoj zastupljenosti je približno jednak sa piritom. Ponekad se može i makroskopski zapaziti. Neravnomerno je rasut po steni, ali je lokalizovan isključivo u kvarcno-turmalinskoj asocijaciji. Obično se nalazi u zrnima nepravilnog oblika, ali se sreću i lepo razvijeni idiomorfni kristali. Najčešće kristalne forme su kocka i oktaedar, no njihove kombinacije su vrlo retke (sl. 5). Veličina kristala je različita i kreće se od svega



Sl. 5 — Kristali uraninita iz pegmatita. Uvećanje 60 ×

Fig. 5 — Euhedral uraninite crystals from pegmatite (60 ×)

nekoliko desetina mikrona do maksimum 2 mm, ali su najčešća zrna veličine 0,5 × 0,3 mm, ređa su ona ispod, a najkrupniji do sada nađen kristal je imao dužinu ivice oktaedra od svega 2 mm. Međutim, kristali veličine preko 1 mm su uopšte vrlo retki. Uraninit se nalazi između kristala petrogenih minerala, uglavnom kvarca, vrlo retko se javlja u inkluzijama u njima. Do sada je zapažen samo u inkluzijama nepravilnih oblika u cirkonu, veličine ispod 50 mikrona.

Specifična težina uraninita je 10,32, dobijena metodom hidrostatičkih terazija. Vrednost dobijena za specifičnu težinu ukazuje da je ovaj uraninit vrlo svež, niskog stepena oksidacije i bez primesa i nečistoće.

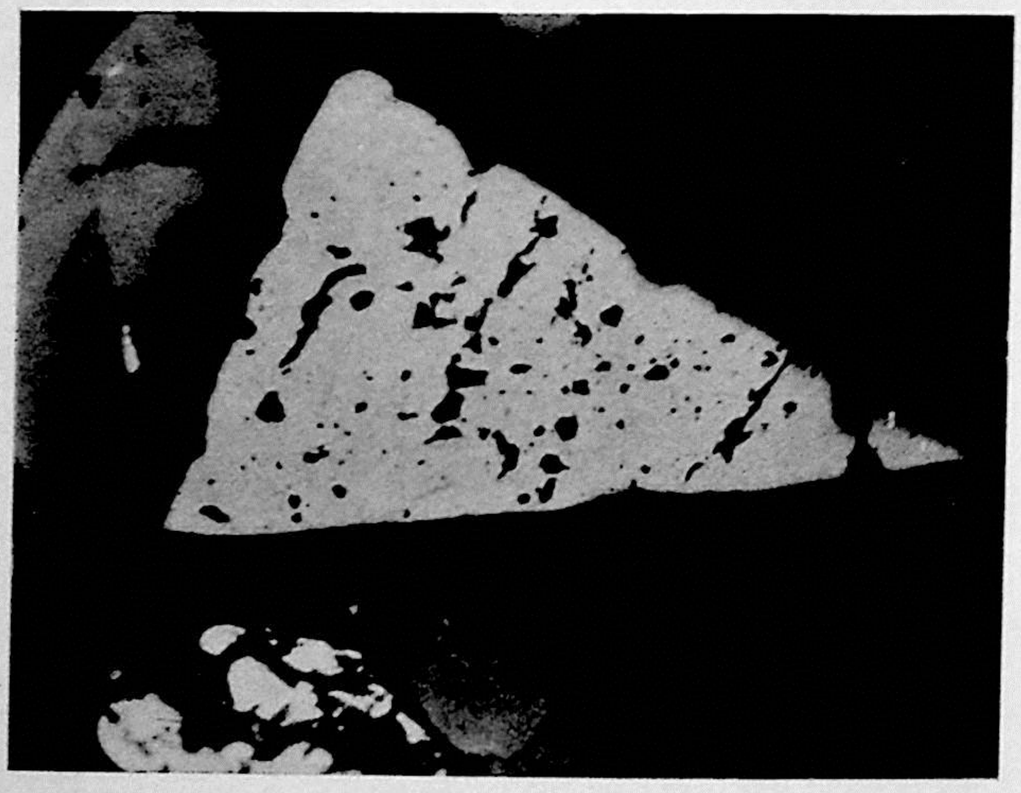
Merenjem tvrdine dobijene su Vikersove vrednosti od 854 ± 43 kg/mm², što odgovara 6,65 na Mosovoj skali (po podacima M.M. Hruščova). Tvrdina je merena mikro-ispitivačem tvrdine »Durimet«, marke »Leitz«, pri opterećenju od 100 gr i pri brzini pada dijamanta od 20 sekundi.

Količina odbijene svetlosti je:

λ — 5000 Å = 17,53%
λ — 5450 Å = 16,77%
λ — 5890 Å = 15,56%

Količina odbijene svetlosti pokazuje normalnu dispersiju ovog uraninita. Merenje je izvršeno aparaturom sa fotomultiplikatorom, koja je izrađena u laboratorijama Zavoda za nuklearne sirovine. Fotomultiplikator je firme RCA, tip 931—A. Monohromatska svetlost je dobijena iz monohromatora marke »Leitz«.

Uraninit se javlja u samostalnim kristalima i ne prorasta niti sa rudnim niti sa petrogenim mineralima, izuzev što se u njemu javljaju neznatne sulfidne inkluzije kao i pojave uraninitskih inkluzija u cirkonu. Veličina sulfidnih inkluzija je ispod 20 mikrona. Najčešće su to inkluzije pirhotina, ređe pirita i halkopirita. Inkluzije su ovalne ili nepravilnog oblika rasute po uraninitu bez ikakve orijentacije. Pirhotinske inkluzije su ponekad zahvaćene procesom pretvaranja u pirit (sl. 4), ali se ovakve strukture sreću vrlo retko.



Sl. 6 — Uraninit u pegmatitu — svetlosiv, pirit — beo, minerali stene — tamnosivi. Uglačan preparat. Imerzija. Uvećanje 80 ×

Fig. 6 — Uraninite in pegmatite (light gray), pyrite (white), other rock minerals dark gray. Polished section. Immersion, magnification 80 ×

Rendgenska ispitivanja vršena su metodom difrakcije i dobijene su sledeće d vrednosti:

I	dÅ	I	dÅ
10	3,12	8	1,053
6	2,721	4	0,965
9	1,93	8	0,924
10	1,64	7	0,912
4	1,57	9	0,864
4	1,36	8	0,835
9	1,25	8	0,825
8	1,22	5	0,789
8	1,114		

$a_o = 5,4679 \pm 0,0005$ Å

Iz rezultata dimenzije elementarne ćelije, kao i na osnovu dobijenog dijagrama praha, može se zaključiti da je ovaj uraninit svež, da je niskog stepena oksidacije, koja iznosi 2,35 (po podacima Sidorenka) i da je sadržaj Th i retkih zemalja vrlo mali.

Hemijski sastav je sledeći:

U — 82,11%
Pb — 1,97%
Th < 0,1%

Hemijska analiza je rađena u laboratoriji ZNS.

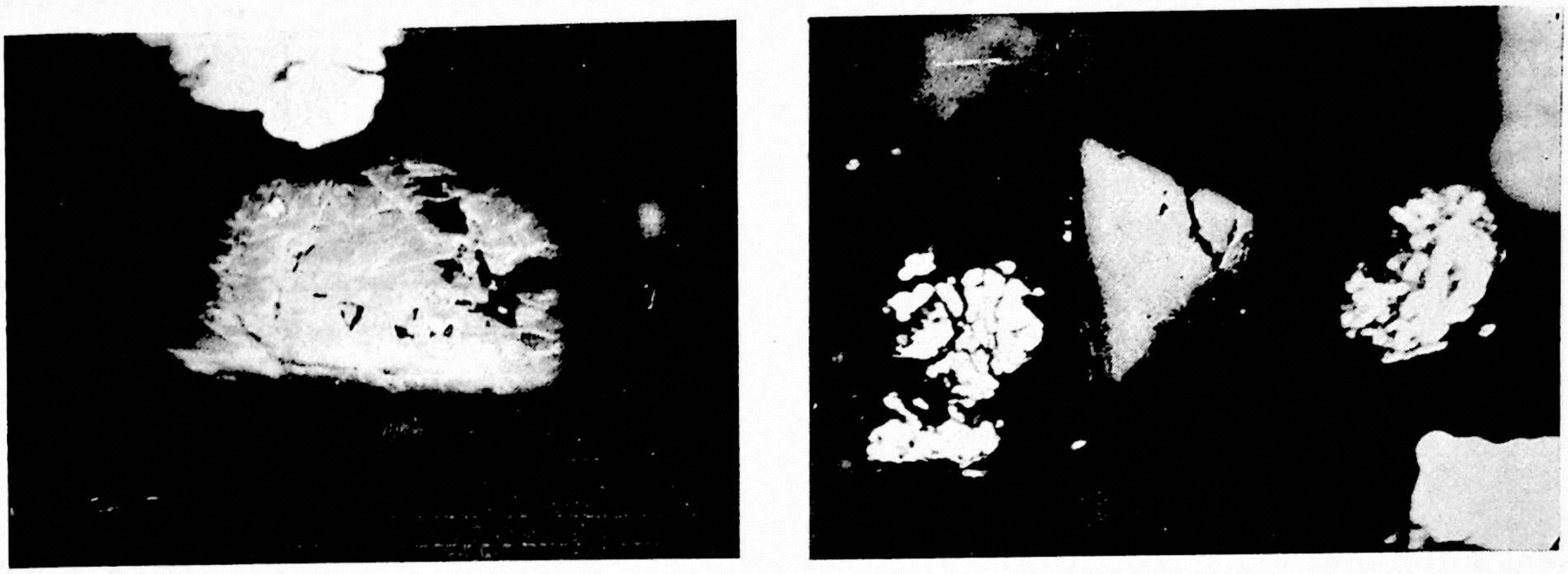
Semikvantitativna spektralna analiza je pokazala prisustvo sledećih elemenata:

U — glavni elemenat		Ca >	316 ppm
Th <	3160 ppm	Si >	1000 „
Cu —	3160 „	Al >	316 „
Pb >	2000 „	Mg >	100 „
Fe >	2000 „		

Na osnovu rezultata hemijskih i spektralnih analiza može se tvrditi da je ovaj uraninit vrlo čist, a sadržaj torijuma u njemu vrlo nizak u odnosu na uraninite pegmatitskog porekla. Takođe, u ovom uraninitu nedostaje prisustvo elemenata retkih zemalja.

Apsolutna geološka starost iznosi 165 miliona godina i određena je metodom izotopskog olova. Ova analiza je izvršena u geohronološkoj laboratoriji ZNS.

Za način postanka ovog uraninita je karakteristično da je on stvaran sa kvarcno-turmalinskom asocijacijom, tj. u fazi bogatoj mineralizatorima. Na osnovu rezultata proučavanja fizičkih i hemijskih osobina uraninita, kao i njegovih strukturnih i paragenetskih odnosa, može se pretpostaviti da su uslovi stvaranja uraninita, kao i



Sl. 7a i 7b — Uraninit iz peščara. Vide se dve komponente — tamnije siva i svetlije siva. Markasit i pirit — beli. Uglačan preparat. Imerzija. Uvećanje sl. 7a — 250 ×, sl. 7b — 120 ×

Fig. 7a and 7b — Euhedral uraninite from the sandstone (dark gray and light gray, which corresponds to the two uranium varieties). Marcasite and pyrite (white). Polished section. Immersion fig. 7a — 250 ×, fig. 7b — 120 ×

njegove matične stene, odstupali od normalne pegmatitske faze. Oskudnost u sadržaju feldspata, a bogatstvo u kvarcu i turmalinu, ukazuje da su i pegmatiti stvarani na nešto nižim temperaturama i da čine prelaz ka pegmatitoidima, odnosno ka pneumatolitskim žicama.

Uraninit u peščarima

Na severnim padinama planine Bukulje otkriven je uraninit u tercijarnim sedimentima, koji se nalaze u blizini kontakta sa granitom (sl. 1). Sedimentna stena je određena kao grubozrni peščar (D. Naumović 1962).

Peščar je izgrađen od kvarca, feldspata i liskuna, slabo vezanih glinovitim cementom. U njemu se mestimično javljaju i fragmenti granita veličine do 5 cm. Mineraloškom analizom utvrđeno je prisustvo, ali u neznatnim količinama, još i sledećih minerala: turmalina, granata, epidota, anatasa, brukita, cirkona, apatita, ksenotima, andaluzita i alanita, a od rudnih pored uraninita još i nešto pirita, halkopirita, tetraedrita, markasita, kovelina, magnetita, hematita, ilmenita, rutila i limonita.

Iz mineralnog sastava se vidi da je peščar izgrađen gotovo isključivo od granitoidnog materijala, ali da ima i vrlo malo materijala poreklom iz metamorfne serije.

Uraninit se javlja u idiomorfnim kristalima i to u oblicima kocke i oktaedra (sl. 7a i 7b). Veličina ovih kristala je najčešće 0,5 — 0,3 mm, kao i kod uraninita iz pegmatita. On se nalazi u slobodnim zrnima i na njima se jasno primećuju 2 komponente — tamnija i svetlija (sl. 7a i 7b), koje nisu bile zapažene na uraninitima iz granita i pegmatita. Dobijena tvrdina od 863 ± 37 kg/mm² merena metodom Vikersa, dala je slične vrednosti kao i kod uraninita iz pegmatitskih žica, samo što je otisak dijamantske prizme često bio znatno izlomljen, dok je kod uraninita iz pegmatita gotovo uvek bio sasvim jasan i bez pratećih pukotinica. Ovo ukazuje na alteraciju uraninita u peščarima, koja je uslovila izvesnu njegovu krtost. Nije bilo moguće posebno određivati tvrdinu za svetlu, a posebno za tamnu komponentu zbog njihovog intimnog prorastanja. Iz istog razloga bilo je nemoguće meriti količinu odbijene svetlosti.

Iz strukturnih odnosa može se zaključiti da je svetlija komponenta nastala kasnije, kao rezultat pretvaranja uraninita.

Rendgenskim ispitivanjima dobijen je potpuno identičan dijagram praha sa uraninitom iz pegmatita.

Ostala fizička i hemijska ispitivanja nisu vršena zbog nedovoljnih monomineralnih količina uraninita, koje su stajale na raspolaganju, a dobijanje većih količina je vrlo otežano iz ovakvih mineralnih asocijacija.

Uraninit u peščarima je poreklom iz pegmatita, delom iz granita. On je ovde donet sa ostalim granitskim materijalom, koji učestvuje u građi peščara. Mineralna zrna uraninita su očuvana i bez zaobljenja, što ukazuje na vrlo kratak transport. I ostali mineralni materijal je sa oštrim ivicama i slabo sortiran, što je rezultat uslova taloženja u priobalskoj sredini. Uraninit se kao detritičan materijal sačuvao u peščarima, a pretrpeo je izvesne promene, tako da se sada mogu izdvojiti dve njegove komponente, uglavnom na osnovu optičkih osobina. Detaljnija ispitivanja pojedinih komponenata na ovom materijalu nije bilo moguće izvršiti.

ZAKLJUČAK

Na planini Bukulji uraninit je nađen kao mineraloška pojava u granitima, pegmatitima i peščarima.

U granitima uraninit se javlja kao akcesorni sastojak dvoliskunskog i biotit granita.

Uraninit je otkriven jedino u onim pegmatitima koji se nalaze u omotaču granita. Ovaj uraninit je idiomorfnih oblika, vrlo svež, niskog stepena oksidacije U^{4+} u U^{6+}, hemijski veoma čist, sa sadržajem Th ispod 0,1%, bez elemenata retkih zemalja i paragenetski vezan sa kvarcno-turmalinskom asocijacijom. Na osnovu njegovih paragenetskih odnosa, mineraloških, fizičkih i hemijskih karakteristika, kao i na osnovu mineralnog sastava pegmatita, u kojima je zapažen oskudan sadržaj feldspata i znatne količine kvarca i turmalina, može se pretpostaviti da su ovi pegmatiti sa uraninitom stvarani na nižim temperaturama i da čine prelaz ka pneumatolitskim žicama.

U peščarima tercijarne starosti uraninit se javlja kao njihov detritični sastojak. Verovatno je ovde poreklom iz pegmatita i granita, gde je donet sa ostalim granitoidnim materijalom od koga je gotovo isključivo izgrađen peščar. Mineralna zrna uraninita su bez zaobljenja, što ukazuje na njihov vrlo kratak transport, a i ostali mineralni sadržaj peščara je sa oštrim ivicama i slabo sortiran, što je rezultat uslova taloženja u priobalskoj sredini.

Apsolutna geološka starost određivana je samo na uraninitu iz pegmatita i ona iznosi oko 165 miliona godina, što odgovara juri.

Na osnovu ovog podatka o apsolutnoj geološkoj starosti uraninita iz pegmatita, kao i podataka koje je dao Miholić za granit i granulit Bukulje (185 miliona godina), postavlja se pitanje opravdanosti dosadašnjeg shvatanja o granitu Bukulje, kao masivu koji je intrudovan za vreme hercinske orogeneze.

Prema ovim geohronološkim podacima bukuljski granit bi bio znatno mlađi, odnosno alpijski. Ali će tek dalja geohronološka ispitivanja, sa više uporednih metoda dati pouzdanije rezultate za ovaj vrlo interesantan problem, čije će rešenje biti od neposrednog teoretskog značaja za poznavanje stratigrafije, tektonike i magmatizma ove oblasti.

LITERATURA

1) Berman El., 1955: Unit cell dimensions of uraninite. Am. Mineral. 40, 925.
2) Bowie S. H. U., Taylor K., 1958: A system of ore mineral identification. Druga međunarodna konferencija Ujedinjenih nacija o mirnodopskoj primeni atomske energije. Ženeva.
3) Višić S., 1961: Pojave i ležišta urana u oblasti planine Bukulje. Radovi sektora za istraživanje nuklearnih i dr. mineralnih sirovina, br. 1, Beograd.
4) Divljan S., 1955: Izveštaj o petrografskom ispitivanju i kartiranju planine Bukulje. Fond stručne dokumentacije Zavoda za nuklearne sirovine, Beograd.
5) Divljan S.: Rezultati ispitivanja gnajseva Bukulje. Glasnik Prirodnjačkog muzeja — u štampi.
6) Žujović J., 1893: Geologija Srbije, deo I, Beograd.
7) Ilić M., 1950: Pegmatiti Bukulje. Zapisnici SGD za 1948 godinu.
8) Kojić M., 1930: Tektonika Bukulje i pojava okera u njoj. Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. X, I deo.
9) Laskarev V., 1927: Pojave šanijaža na Bukulji. Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. IX, I deo.
10) Laskarev V., 1930: Prilozi za tektoniku Bukulje, Crnog Vrha i Fruške Gore. Anali Balkanskog poluostrva, knj. X, I deo.
11) Laskarev V., 1932: Geološka promatranja na Bukulji. Vesnik geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije za 1931, knj. I, sveska II.
12) Leonova A., 1959: K mineralogii i kristalohimii uraninitov Sev. Karelii, Zap. Vsesoj. Mineral Obšč. 88, № 1.
13) Maksimović S., 1961: Mineraloško ispitivanje nanosa Bukulje. Radovi sektora za istraživanje nuklearnih i drugih mineralnih sirovina br. 1.
14) Mikinčić V., 1933: Prilog za poznavanje Golta u Šumadiji. Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. XI, II deo.
15) Mikinčić V., 1935: Geološko kartiranje sekcije Aranđelovac. Izveštaj o radu Geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije za 1934 g.
16) Miholić S., 1950: Determination of the ages of igneous rocks. Journal of the chemical Society, vol. 666, London.
17) Naumović D., 1962: Izveštaj o pojavi uranske mineralizacije u potoku Pločnik (Bukulja). Fond Zavoda za nuklearne sirovine, Beograd.
18) Pavlović M., 1935: Ispitivanje tercijara na listu Aranđelovac. Izveštaj o radu geološkog instituta Kraljevine Jugoslavije za 1934 g.
19) Pavlović S., Ristić M., 1962: Petrografska, geohemijska, i tektonska proučavanja nekih granita Jugoslavije i karakter njihovih uranskih mineralizacija. Fond Zavoda za nuklearne sirovine.
20) Petrović M., 1959: Radiometrijska prospekcija iz vazduha planine Bukulje, 1959 god. Fond Zavoda za nuklearne sirovine.
21) Ramdohr P., 1955: Die Erzmineralien und ihre Verwasungen.
22) Sidorenko G. A., 1958: Rentgenografičeskoe izučenie prirodnih okislov urana. Geohimia № 1.
23) Soboleva M. V., Pudovkina J. A., 1957: Minerali urana. Gosgeoltehizdat. Moskva.
24) Urošević S., 1899: Iskonski teren Venčaca, Bukulje, Vagana i okoline. Zapisnici Srpskog geološkog društva LXVIII.
25) Urošević S., 1900: Studije iskonskog terena u Srbiji — Venčac, Bukulja, Vagan. Glas. Srpske kraljevske akademije LXI.
26) Hruščov M. M., 1947: O vibore osnovnogo metoda opredelenia tvendosti materialov. Zav. lab. tom XIII, № 9.

SUMMARY

OCCURENCES OF URANINITE IN THE AREA OF BUKULJA MOUNTAIN

DUŠAN RADUSINOVIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

Although a number of uranium occurences and deposits were known to exists in the area of Bukulja Mountain (about 70 km south of Beograd), the presence of uraninite has been established only recently. The uraninite occurs in three, petrographicaly and geneticaly different rock types, i. e., in granites, pegmatites and sandstones.

The discovery of uraninite in granites was madepossible only after very carefull and detailed mineralogical investigations. It occurs as an accesory mineral in some granitic varieties (two-mica and biotite granites), but in the very low concentrations. As an exemple, only few crystals showing regular forms were detected in the material of a mass-sample of almost 100 kg; those crystals were associated with some of the other common opaque minerals normaly found in the mentioned granitic rocks.

Uraninite is also discovered in the pegmatites located in the mantle of the granitic massif. There it is developed in the idiomorphic forms and the largest grains showed the edges of octaedric crystals of about 2 mm in lenght. Although those crystals are randomely distributed troughout the rock there are the almost constant paragenetic relations with the quartztourmaline associations in the pegmatites. The detailed examinations of their chemical and physical properties imposed the conclusion that the uraninite has been not altered showing a very low grade of oxidation. Its chemical purity might be concerned as a very high, due to the very low amounts of thorium (less than 0,1%) and rare-earth elements. On the basis of these results and results of the textural and paragenetic studies, the autor of this paper supposes that the formation of uraninite could be atributed to the low temperature phases of the pegmatite formation. The relatively low concentrations of felspats and the high contents of quartz and turmaline indicate the low temperature of formation of the uraninite-bearing pegmatites, which could be concerned as a transition into the pneumatolites.

The specific gravity of this uraninite is 10.32; micro-hardness 854 ± 43 kg/mm², which corresponds to 6.65 on the Moss scale. The reflected light intensities were 17.53% at wavelenght of 5000 Å, 16,77% at 5450 Å and 15.56 at 5890 Å, all measured in the air. The unit cell dimension was $a_o = 5.4679 \pm 0.0005$ Å. The chemical composition 82,11% U; 1,97% Pb and Th less than 0.1%.

The uraninite in the Tertiary sandstones originated from the pegmatites and partly from the granitic rocks. The sandstones are composed almost entirely (99%) of the fragments of the granitic origin and the uraninite have been transfered into them together with the other granitoide material. The uraninite in the sandstones occurs in the form of the free idiomorphic crystals. The reflected light studies clearly revealed two optically different varieties, the darker and lighter one. The X-ray investigations of both varieties showed the diagrams which are indentical with the diagram of uraninite from the pegmatites. The transpont was limited for a very short distance, which is indicated by the very well preserved edges of the uraninite orystals. The sandstones were deposited in the near-coastal area and they show accordingly the unregular sorting of the mineral grains with sharp edges.

The absolute age of uraninite from the pegmatite is about 165 million of years, obtained by the isotopic lead to uranium ratio.

DUŠAN RADUSINOVIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

Ni-Co-U MINERALIZACIJA U Pb-Zn-Sb RUDNIKU VELIKI MAJDAN (ZAPADNA SRBIJA)

Ispitivanjem mineralnog sadržaja radioaktivne pojave iz rudnika Veliki Majdan ustanovljeno je da se radi o jednoj mineraloški i genetski veoma interesantnoj asocijaciji urana sa niklom i kobaltom. Ova Ni-Co-U mineralizacija javlja se u ležištu samostalno i prostorno je odvojena od olovno-cinkanih i antimonskih rudnih tela. Ona se nalazi u krečnjacima na njihovom kontaktu sa škriljcima drinske facije, a u neposrednoj blizini jednog dacitskog proboja.

Našim ispitivanjima određeno je nekoliko mineralnih vrsta, koje nisu bile ranije poznate u ovom rudniku, a od njih je u regionalno-mineraloškom pogledu svakako najznačajniji nalazak minerala anabergita, koji je sada prvi put otkriven u našoj zemlji.

Tako se mnogobrojnim već poznatim rudnim i mineralnim pojavama Podrinja dodaje sada i ova sa niklom, kobaltom i uranom, upotpunjujući na taj način ionako složenu metalogeniju ove veoma interesantne rudarske oblasti u Srbiji.

UVOD

Prospekcijom rudnih pojava u rudarsko-topioničarskom bazenu »Zajača« početkom 1962. godine od strane Zavoda za nuklearne sirovine, registrovana je znatna radioaktivnost u rudniku Veliki Majdan. Na materijalu dostavljenom od strane službe za usputnu prospekciju, autor je izvršio rudno-mikroskopska ispitivanja i ustanovio da se ovde radi o jednoj vrlo interesantnoj paragenezi urana sa niklom i kobaltom. Na osnovu terenskih posmatranja, koja smo obavili na rudniku, utvrđeno je da se ova mineralna pojava javlja samostalno u ležištu, i to u njegovoj oksidacionoj zoni, odvojeno od olovno-cinkanih i antimonskih rudnih tela, da je otkrivena samo u jednoj lokalnosti, ali da bi s obzirom na tip ove pojave trebalo očekivati još takvih ili sličnih uranskih mineralizacija u ovoj oblasti, možda i pošteđenih oksidacije, na kojima bi se moglo dobiti više geološko-mineraloških podataka, a koje bi eventualno mogle predstavljati i ekonomske koncentracije.

U ovom članku će biti izneti rezultati uglavnom mineraloških ispitivanja, koji su interesantni kako zbog jedinstvene mineralne parageneze, koja do sada nije bila poznata u našim rudnim ležištima, tako i radi upoznavanja metalogenetskih karakteristika grano-dioritskog magmatizma u ovoj oblasti.

KRATAK PRIKAZ GEOLOŠKO-TEKTONSKIH I MINERALOŠKO-PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKA LEŽIŠTA

Rudnik Veliki Majdan se nalazi na južnim padinama planine Jagodnje, udaljen oko 15 km od varošice Ljubovije u zapadnoj Srbiji. Ovo rudište predstavlja najznačajnije nalazište olova i cinka u ovom kraju.

Među prvim radovima koji prikazuju geologiju ove oblasti su radovi J. Žujovića (1893—1900) i S. Uroševića (1903), a zatim nekoliko radova V. Simića (1932—1935, 1938, 1940, 1953 i 1957), S. Pavlovića (1938) i najnoviji radovi S. Karamate (1955), S. Radoševića (neobjavljeno), S. Rakića (1958) i M. Radukića (1960).

Šire područje rudnika Veliki Majdan je izgrađeno od argilošišta, filita, mermera, kvarcita i konglomerata paleozojske starosti, verovatno permokarbonske, zatim od dijabaz-rožne formacije i krečnjaka trijasa. Sve su ove stene isprobijane grano-dioritima i dacitsko-andezitskim stenama. Grano-dioriti su izvršili znatne promene na okolnim stenama i tako stvorili kontaktno- metamorfni oreol oko grano-dioritskog masiva Boranje.

Najpotpunije podatke o paleozojskim i trijaskim sedimentnim stenama nalazimo u radovima V. Simića. On je izdvojio dve facije paleozojskih stena — drinsku i jadarsku. Takođe je on prvi pretpostavio da najveći deo eruptivnih stena u ovoj oblasti potiče od magme, koja je dala boranjski grano-dioritski masiv. Magmatske stene je detaljnije obrađivao S. Pavlović. On je, pored petrografskih podataka, dao i mišljenje o njihovoj geološkoj starosti. U petrološkoj studiji S. Karamate, dati su vrlo detaljni podaci o eruptivnim i kontaktno-metamorfnim stenama Boranje. On je izdvojio grano-diorite, grano-diorit-porfirite, lamprofire, pegmatite i aplite, zatim dacite i andezite, i pretpostavio da su sve ove stene iz istog magmatskog ognjišta.

Grano-diorit, po S. Karamati (1955), sadrži kao bitne sastojke kvarc, ortoklas, andezin, biotit i hornblendu. Od sporednih sastojaka sadrži sfen,

apatit, cirkon, alanit i magnetit, kao i sekundarne minerale hlorit, epidot, kalcit, sericit i kaolinit. Detaljnom mineraloškom analizom u laboratoriji Zavoda za nuklearne sirovine utvrđeno je prisustvo još i sledećih minerala: granata, rutila, monacita, torita i turmalina od providnih, a pirita, pirhotina, halkopirita, galenita, tetraedrita, markasita, uraninita, šelita i limonita od rudnih minerala.

Žične stene — pratioci grano-diorita — su obično male moćnosti, naročito pegmatiti i apliti, dok se grano-diorit -porfiriti i lamprofiri javljaju vrlo slično, kao i dacito-andeziti i mestimično ih je vrlo teško razlikovati. U sastavu su zastupljeni skoro isti bitni minerali kao i kod grano-diorita, samo što u žičnim stenama ima i augita, a u pegmatitima još i nešto muskovita i turmalina.

Daciti i andeziti se grupišu u dve zone proboja — prva ide od Zvornika preko Lipničke Glave, Velikog Majdana i dalje na JI, a druga od Brasine, povija preko Kostajnika i završava se kod Krupnja. Kao fenokristali u njima se javljaju andezin, biotit, kvarc i hornblenda, a veoma retko i ortoklas. Osnovna masa je od istih sastojaka, ponekad još i sa malo stakla. Akcesorni minerali su apatit, cirkon, sfen i magnetit, a sekundarni sericit, hlorit, epidot, kaolin i kalcit. Većina dacito-andezitskih stena je intenzivno propilitisana.

Grano-diorit Boranje je udaljen oko jedan do dva kilometra od rudnika Veliki Majdan, dok se dacitoandezitske stene javljaju u vidu proboja i u samom rudištu.

Tektonski pokreti u ovoj oblasti bili su vrlo intenzivni. Međutim, na rudnim telima u Velikom Majdanu nisu zapažene postrudne tektonske deformacije. Smatra se da su permo-karbonske i trijaske tvorevine ubrane u austrijskoj fazi, a da su grano-dioriti intrudovani u oligocenu, a vulkanske stene verovatno u miocenu.

Rudne pojave u Velikom Majdanu su bile poznate još i starim narodima. Verovatno da je i u rimsko doba ruda bila vađena. U srednjem veku je rudarenje u ovoj oblasti bilo vrlo intenzivno, a šljake ukazuju i na topioničarsku delatnost. U periodu između dva rata rudne pojave su opisivane u radovima prilikom izrade geološke karte (V. Simić, S. Pavlović), a posle drugog svetskog rata o njima daju podatke A. Cisarc, S. Radošević, S. Rakić, S. Karamata, S. Janković i M. Radukić.

U oblasti rudnika u vezi sa grano-dioritskim magmatizmom nalaze se mnogobrojne rudne i mineralne pojave, uglavnom Sb, Pb, Zn i Cu, zonarno raspoređene oko boranjskog grano-dioritskog masiva.

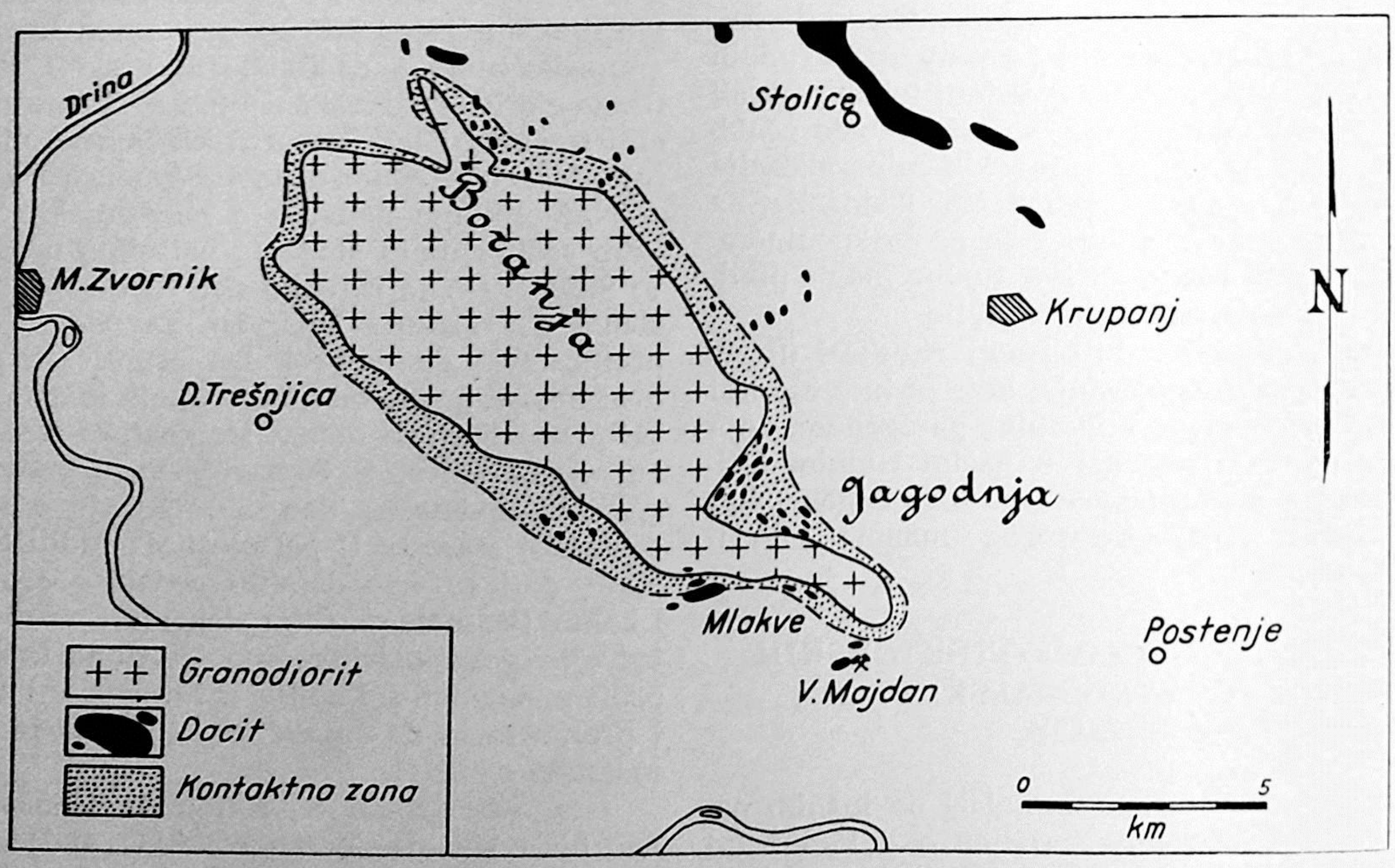
U samom rudniku Veliki Majdan nalazi se više tipova orudnjenja i to:

a) Pb-Zn rude,
b) piritska rudna tela,
c) antimonska rudna tela,
d) Ni-Co-U mineralizacija.

Rudna tela su najčešće u vidu stubova, gnezda i impregnacija. Najznačajnija rudna tela su u obliku stubova, dok su gnezda obično manjih razmera. Impregnaciona tela su velikih razmera, ali su u njima rudni minerali nepravilno rasuti po steni i često nisu od ekonomskog značaja.

Pb-Zn rude su najzastupljenija i ekonomski najznačajnija rudna tela u ležištu.

Antimonsko orudnjenje je neznatnije i javlja se delom kao samostalno, a delom zajedno sa olovno-cinkanim rudnim telima.



Geološka karta oblasti rudnika Veliki Majdan *Geologic map of Veliki Majdan area*



Sl. 1 — Idiomorfni kristali pirita. Makrofotografija u prirodnoj veličini

Fig. 1 — Idiomorphic crystals of pyrite. Natural size macrophotography

Piritska tela su prostorno odvojena od ostalih, monomineralna su i mestimično se u njima nalaze vrlo lepi idiomorfno razvijeni kristali pirita u oblicima kocke i pentagondodekaedra veličine i po nekoliko santimetara, sa crtastim pljosnima i sa makroskopski vidljivom zonarnošću (sl. 1).

Mineralni sastav ovog rudišta je detaljno obradio S. Rakić (1958). On je izdvojio više mineralnih parageneza ukazujući i na sukcesije deponovanja pojedinih mineralnih vrsta. Po njemu šema sukcesije minerala je sledeća.

»Kontaktna faza: kontaktni silikati, kalcit I, magnetit I.

Hidrotermalna faza:

katatermalna — sfalerit I, halkopirhotin, valerit, pirhotin, halkopirit I, galenit I, siderit.

transformacije — magnetit II, pirit I, markasit I, hematit.

mezotermalna — kvarc I, zlato, arsenopirit I, sfalerit II, halkopirit II, tetraedrit I, oligonit.

epitermal — kvarc II, pirit II, arsenopirit II, džemsonit, halkopirit III, tetraedrit II, burnonit, miargirit, pirargirit, bulanžerit, galenit II, plumozit, kalcit II, barit.

teletermalna — sfalerit III, pirit III, arsenopirit III, markasit II, cinabarit, saflorit, kvarc III, antimonit, kalcit III.

Cementacija oksidacija: pirit IV, markasit III, halkopirit IV, bornit, halkozin, kovelin, azurit, malahit, kuprit, bakar, limonit, kermezit, valentinit, senarmontit, sumpor, anglezit, ceruzit, smitsonit, magemit.«

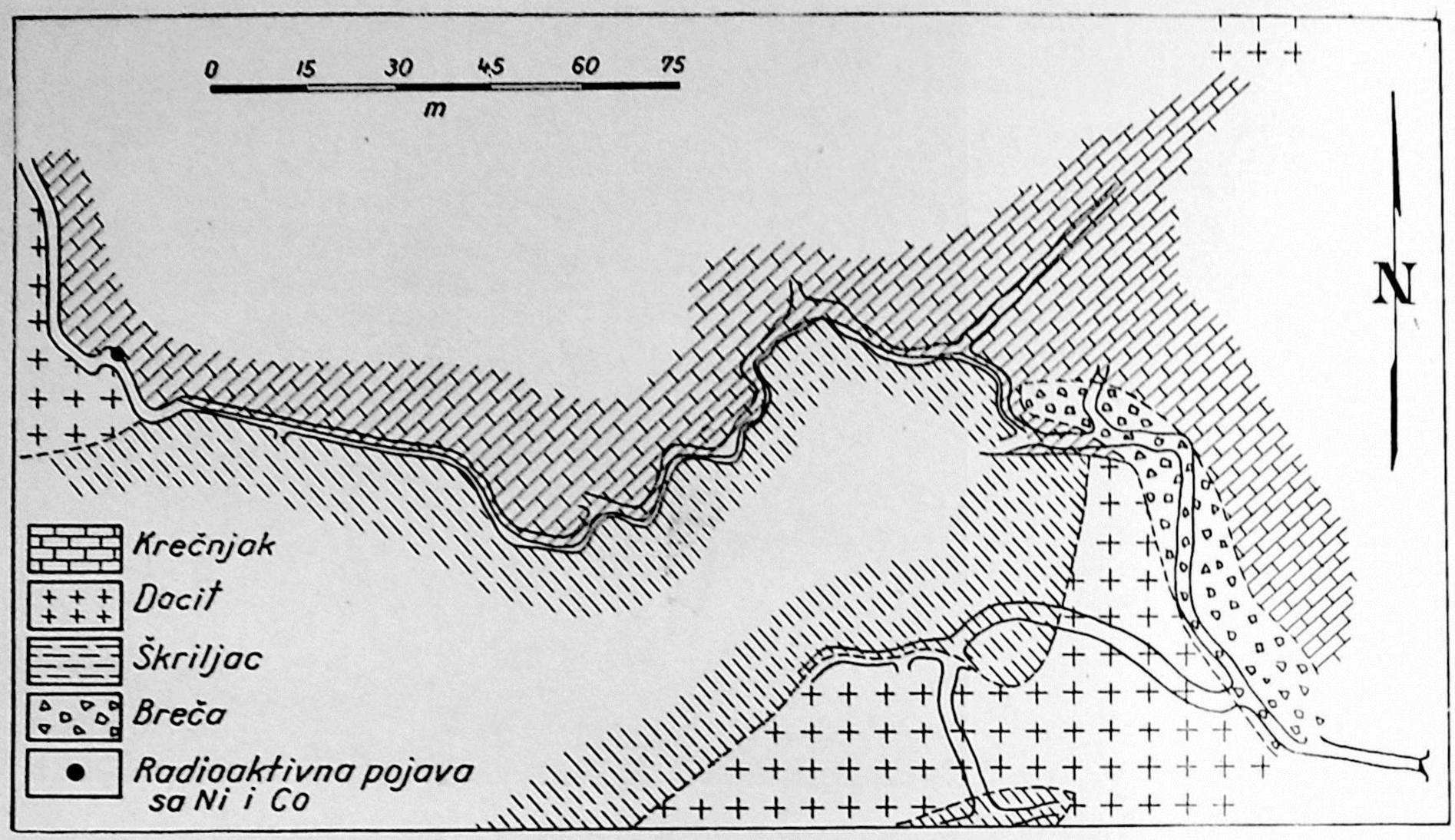
Kao što se iz mineralnog sastava vidi, do sada nisu bili nađeni radioaktivni minerali, a od Ni-Co minerala bio je poznat samo kobaltni arsenit-saflorit i to u teletermalnom stadijumu, stvaran sa antimonitom, cinabaritom, markasitom i drugim niskotemperaturnim mineralima.

Ni-Co-U MINERALIZACIJA

Ova mineralna asocijacija otkrivena je na horizontu 100 m u rudniku Veliki Majdan i nalazi se u krečnjacima koji su slabo impregnisani sulfidima, uglavnom piritom, a vrlo retko ima i tragova galenita, sfalerita i drugih minerala. Javlja se u vidu jednog impregnacionog tela sočivastog oblika neznatnih razmera, u blizini kontakta krečnjaka i škriljaca sa jednim dacitskim probojem.

Krečnjaci su delom silifikovani i lokalno jače impregnisani malim, takođe ponekad sočivastim nagomilanjima sulfidnih minerala.

Dacit je vrlo intenzivno izmenjen hidrotermalnim procesima. Mestimično je impregnisan, slabije ili jače, sa rudnim mineralima. Od fenokristala očuvan je jedino sanidin, dok su ostali feldspati gotovo potpuno prešli u sericit i kalcit. Često se vide u mikroskopu lepo očuvane kristalne forme feldspata, koje su sada u stvari pseudomorfoze sericita, ponekad i s uočljivom lamelarnom strukturom pojedinih zrna. Od bojenih sastojaka nije se skoro ništa sačuvalo. Za neka mineralna zrna, sa jasnom cepljivošću i sa izvesnim nagomilanjima gvoždevite materije, smatramo da su poreklom od biotita, a neka sa jedva naglašenim tragovima amfibolske cepljivosti, verovatno da potiču od hornblende, ali su ovi relikti vrlo slabi i nesigurni. Kvarc je prilično zastupljen kao feno-kristal i skoro uvek je korodovan. Kalcit se javlja ne samo kao produkt pretvaranja feldspata, nego je i naknadno unet i tada se javlja u vidu tankih žilica koje presecaju stenu. Osnovna masa je od istih minerala koji se javljaju u fenokristalima. Feldspati iz osnovne mase su nešto bolje očuvani, ali ipak nije bilo moguće, optičkim metodama, odrediti o kojoj se vrsti feldspata radi. U svakom slučaju postoje dve vrste feldspata i ovaj dacit bi se mogao nazvati *sanidinski dacit*.



Rudnik Veliki Majdan — horizont 100. Detalj sa radioaktivnom pojavom i mineralima nikla

Mine of Veliki Majdan — level 100. The detail of radioactive occurence and the nickel mineralization

Ni-Co-U mineralizacija je metasomatski zamenila krečnjak, a minerali su vrlo intimno međusobno prorasli. Granica sočivastog tela i stene je nepravilna i rudni minerali zalaze neravnomerno u stenu, prodirući u vidu manjih žilica veličine obično od 2 — 3 cm. U okolnoj steni sa sulfidnom, pretežno piritskom impregnacijom nisu nađeni minerali Ni-Co i U. Moćnost radioaktivnog sočiva je 10 — 20 cm, a njegova dužina je praćena hodnikom svega 1,5 m. Makroskopski ovo telo je vrlo slično običnoj piritskoj impregnaciji, samo što se u njemu mestimično zapažaju crne radioaktivne skrame od sekundarne pehblende, kao i zelene prevlake od anabergita.

Hemijska analiza radioaktivnog primerka dala je sledeći sadržaj:

Ni	12,5%
Co	0,59%
U	1,05%

Analiza je izvršena u laboratorijama tehnološkog sektora Zavoda za nuklearne sirovine.

Mineralni sastav

U ovoj mineralnoj asocijaciji nađeno je prisustvo sledećih minerala: lineita, milerita, gersdorfita i pirita kao glavnih sastojaka parageneze, a zatim ima i vrlo slabih tragova galenita, sfalerita, tetraedrita, magnetita, hematita, halkopirita, markasita, pehblende(?), anabergita, limonita, kvarca i kalcita.

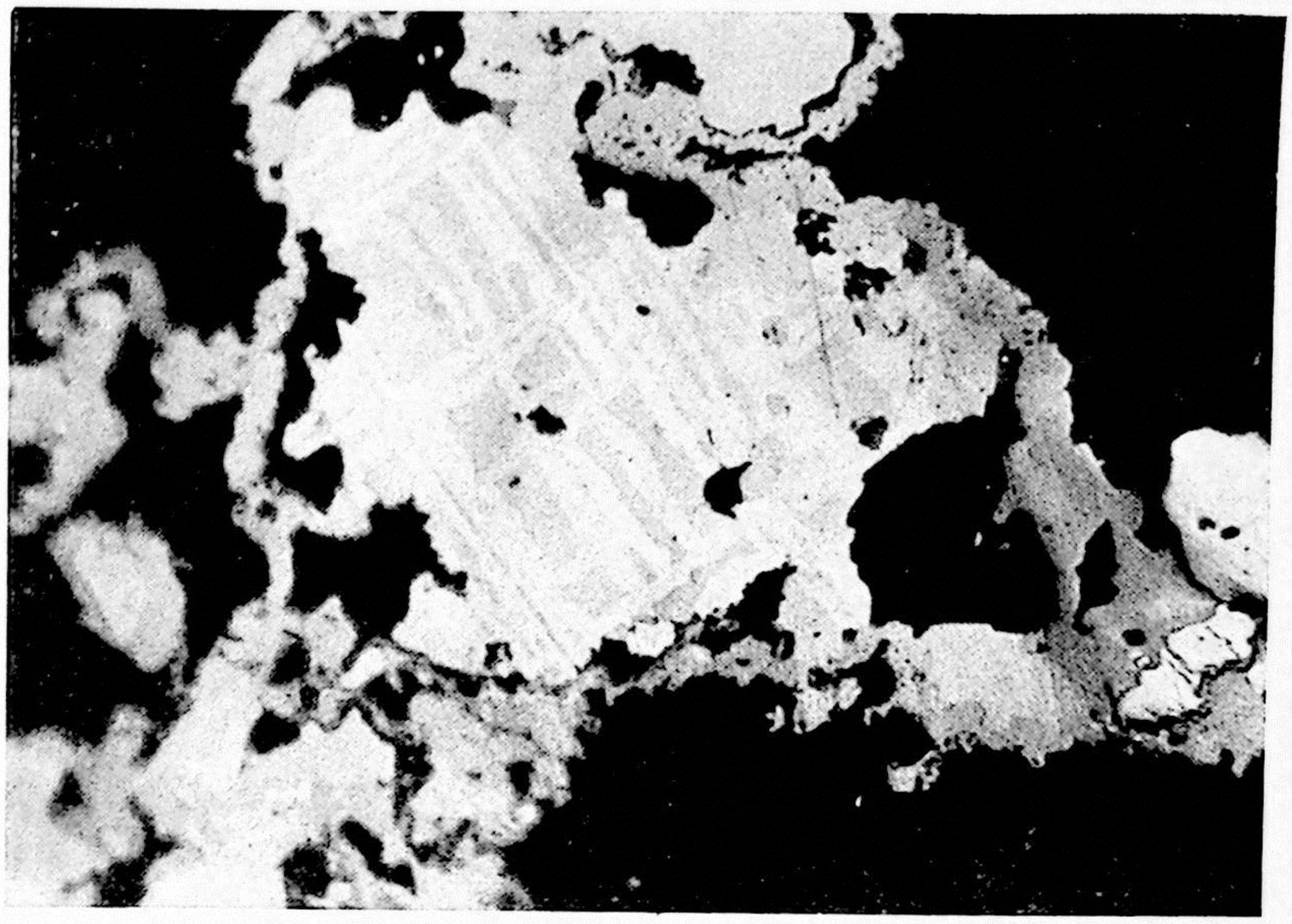
Lineit je jedan od najzastupljenijih minerala u ovoj paragenezi. Javlja se u kristalima različite veličine, ali je obično ispod 1 mm. Jasno se zapaža ružičasta boja i uvek se dobro polira. U njemu se često nalaze lamelarna izdvajanja milerita kristalografski orijentisana po kocki (sl. 2). Ova izdvajanja milerita, kao i rezultat hemijske analize, iz koga se vidi da je sadržaj Ni znatno veći od sadržaja Co, ukazuju da se tu nesumnjivo radi o niklovim lineitima.

Iz mikrostrukturnih i paragenetskih odnosa može se jasno uočiti da je lineit iskristalisao pre ostalih niklovih minerala, a da je pre njega stvaran jedino idiomorfni pirit, koga lineit često koroduje (sl. 3). Strukturna prorastanja lineita i milerita su vrlo često obložena jednim oreolom gersdorfita, dajući tako kokardnu strukturu (sl. 4). Lineit se nalazi i u vidu retkih inkluzija po gersdorfitu. Veličina ovih inkluzija je obično ispod 50 mikrona.

Gersdorfit je po zastupljenosti odmah iza lineita sa kojim se najčešće i javlja. Međutim, zapažena je i asocijacija gersdorfit — pirit gotovo bez drugih sulfidnih minerala, osim vrlo retkih tragova lineitskih inkluzija mikronskih razmera. Gersdorfit je, takođe, mlađi po postanku od pirita i ove strukture su lepo vidljive na mikrofotografijama (sl. 5 i 7). Kad je u paragenezi sa ostalim mineralima nikla u njemu su zapažene ponekad i neke tamnosive izotropne inkluzije slične tetraedritu, ali se ipak po boji jasno razlikuje od boje tetraedrita iz ovog ležišta, te bi one mogle odgovarati vaesitu, jer im je tvrdina, upoređujući njihov reljef, veća od tvrdine gersdorfita. Međutim, tačnu determinaciju inkluzija je nemoguće izvršiti na ovom materijalu zbog minimalnih ko

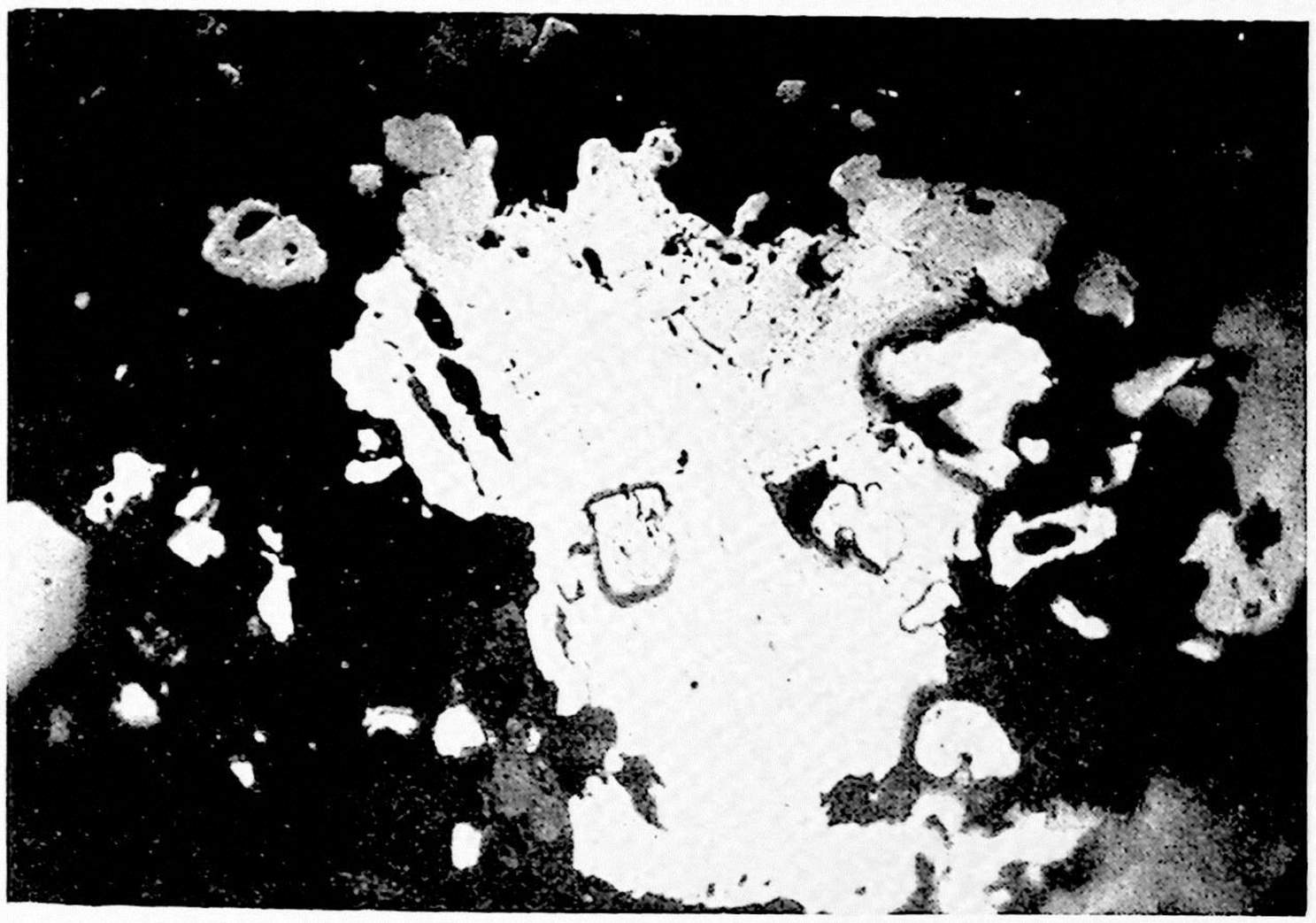
Sl. 2 — Lineit (siv) sa kristalografski orijentisanim izdvajanjima milerita (svetlosiv). Imerzija, uvećanje 160 ×

Fig. 2 — Linnaeite (gray) with the crystaligraphicaly oriented separation of millerite (light gray). Immersion, magnification 160 ×



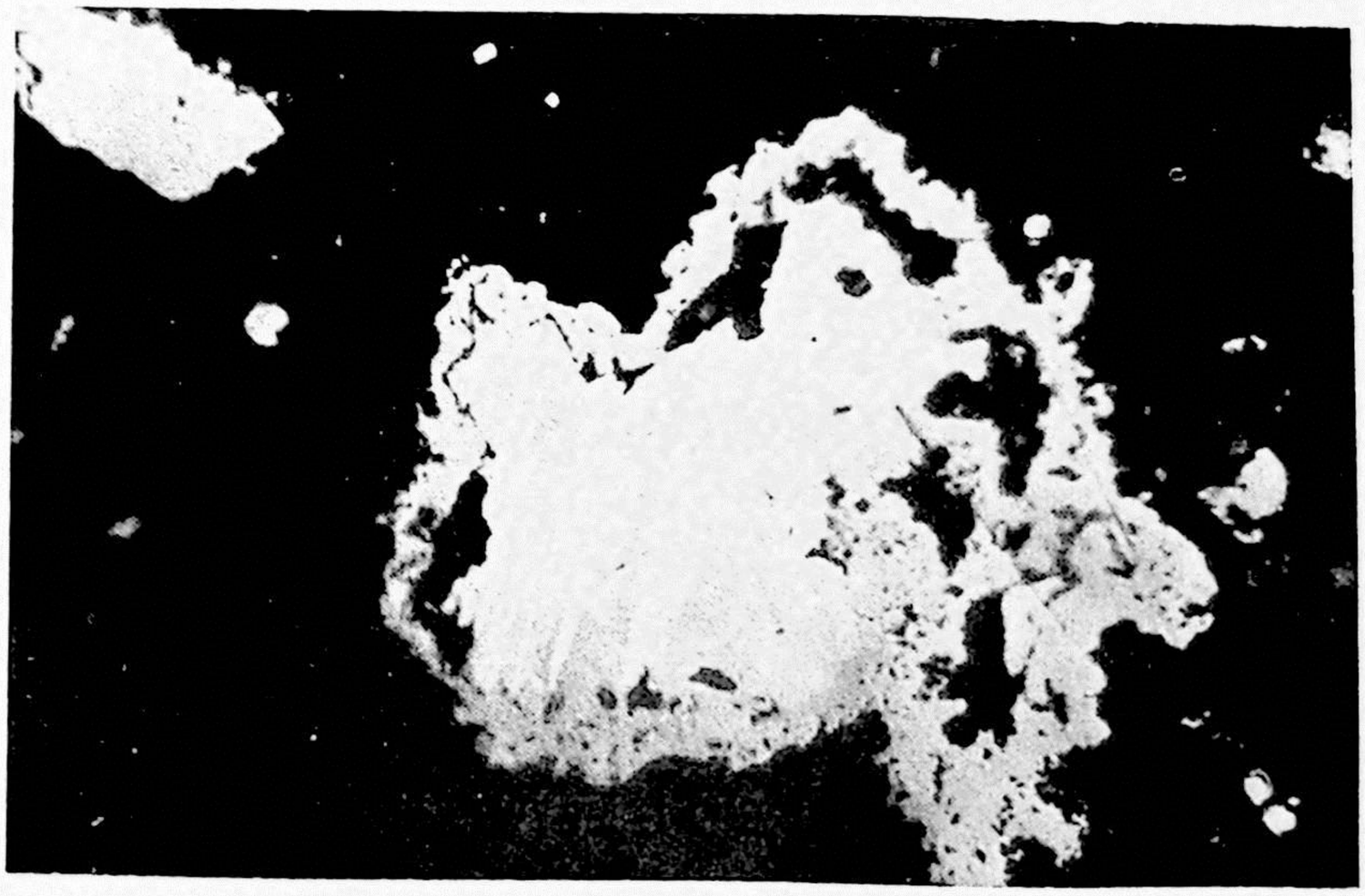
Sl. 3 — Lineit (siv) sa mileritom (beo) i piritom (beo — reljefan). Imerzija, uvećanje 160 ×

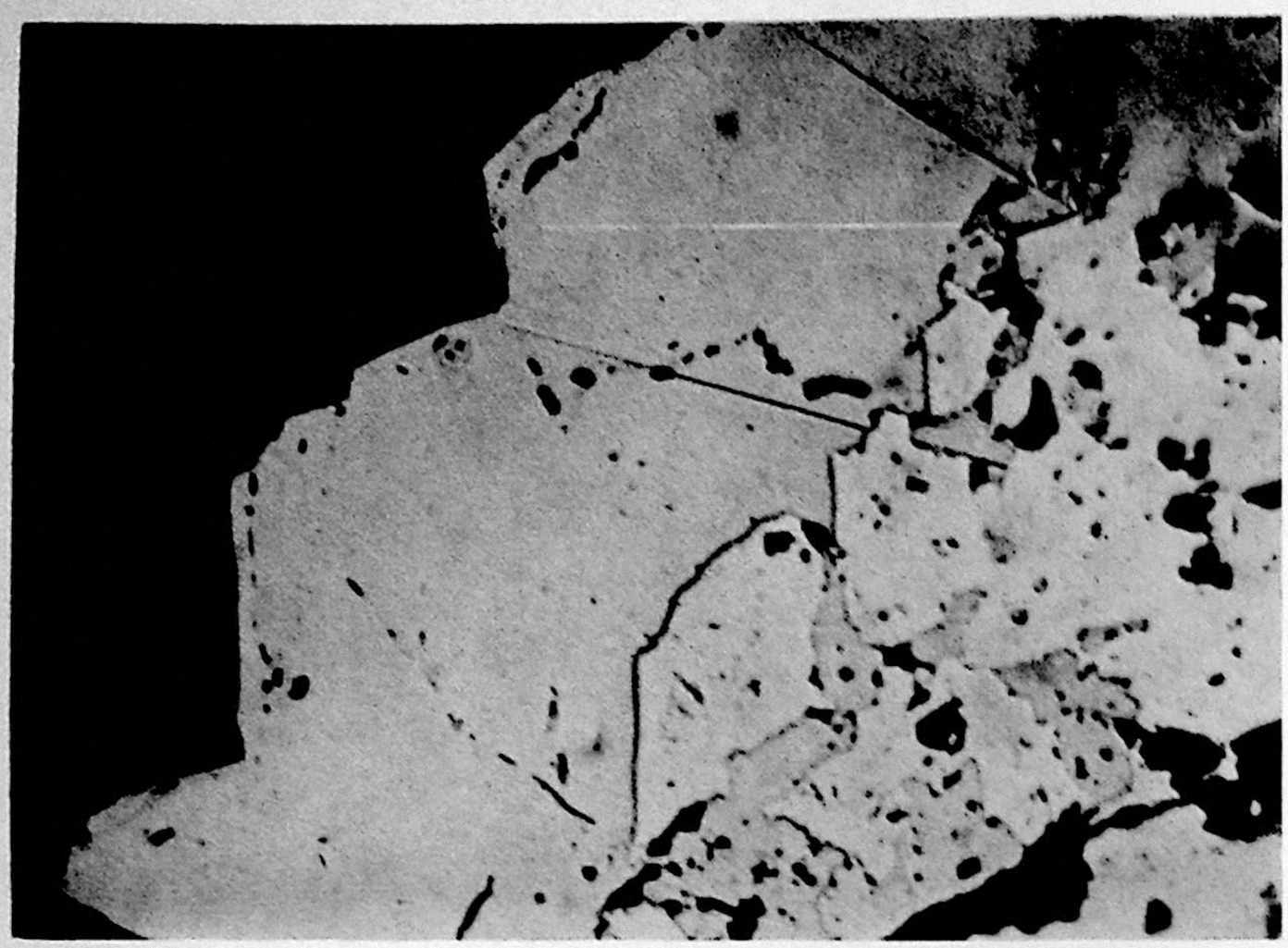
Fig. 3 — Linnaeite (gray) with millerite (white) and pyrite (white and with pronounced relief). Immersion, 160 ×



Sl. 4 — Lineit (siv) sa mileritom (beo) i gersdorfitom (svetlije siv od lineita, ali se to na slici ne može primetiti). Gersdorfit se javlja po obodu asocijacije lineit — milerit. Imerzija, uvećanje 220 ×

Fig. 4 — Linnaeite (gray) with millerite (white) and gersdorffite (lighter gray than the linnaeite, but this detail could not be observed from the photo). Gersdorffite occurs at the rim of the linnaeite-millerite association. Immersion, 220 ×





Sl. 5 — Gersdorfit (siv) sa piritom (beo — reljefan). Imerzija, uvećanje 80 ×

Fig. 5 — Gersdorffite (gray) and pyrite (white-pronounced relief). Immersion, 80 ×

ličina i mikronskih razmera, pošto su one obično veličine ispod 20 mikrona.

Rendgenskim ispitivanjima dijagrama praha dobijene su sledeće d vrednosti:*)

I	dÅ	I	dÅ
3	4,03	1	2,20
2	3,61	5	2,01
1	3,34	1	1,92
10	2,84	1	1,85
9	2,54	2	1,79
8	2,33	3	1,64
5	1,57	3	1,24
5	1,51	2	1,21
1	1,30	a_0 =	5,692 Å
1	1,26		

Semikvantitativna spektralna analiza dala je prisustvo sledećih elemenata (Ni, Fe, As glavni sastojci)*:

Sb	1000 ppm
Zn	1000 „
Co	316 „
Pb	100 „
Ag	32 „
U	+
Mn	+
Ca	5000 ppm
Si	1000 „
Mg	200 „

Kvantitativna hemijska analiza izvršena na primerku koji je bio izgrađen od asocijacije pirit-gersdorfit dala je sledeći sadržaj:

As	8,68%
Sb	0,12%
Ni	5,96%
Co	0,26%

Na osnovu hemijskog sastava kao i dobijenih d vrednosti i dimenzije elementarne ćelije ovaj bi mineral odgovarao gersdorfitu.

Paragenetsko mesto gersdorfita je u ovoj asocijaciji jasno određeno strukturnim odnosima, koji pokazuju da je on stvaran kao poslednji primarni sulfidni mineral Ni, deponujući se preko lineitsko-mileritskih agregata, odnosno često korodujući pirit.

Milerit je dosta čest, ali količinski neznatno zastupljen. Javlja se u vidu tankih lamela, jasno primetnih obično tek kod mikroskopskog posmatranja u imerziji. Ova lamelarna izdvajanja su u lineitu i kristalografski orijentisana po kocki (sl. 2). Sem lamelarnog oblika mogu se, ali znatno ređe, naći i nešto veće nepravilne površine milerita u lineitu. Ovo su neznatnija stvaranja u kojima se mogu naći samo ostaci lineita (sl. 6).

Milerit je ovde nastao isključivo od lineita u kome je prvobitno bio u čvrstom rastvoru.

Pirit se u rudniku javlja u više faza. S. Rakić (1958) je izdvojio četiri generacije, ,od kojih su prva i četvrta nastale od pirhotina, a druga i treća su primarne i pripadale bi epi — odnosno teletermalnoj fazi.

Prema našim ispitivanjima pirit iz Ni-Co-U parageneze predstavljao bi posebnu generaciju, koja je stvarana na srednjim, a delom i višim temperaturama hidrotermalnog stadijuma. On je iskristalisao najranije od svih ostalih sulfida u ovoj paragenezi. Često je korodovan od strane Ni-Co

*) Rendgenska snimanja izvršio je M. Vukasović, mineralog ZNS-a

minerala, lineita, a naročito gersdorfita (sl. 3 i 5), kao i od karbonatnog ganga. Javlja se u idiomorfnim oblicima, ali i u vidu nepravilnih zrna. Kristali su mu često potisnuti kasnijim tvorevinama, tako da se ponekad samo naziru idiomorfni oblici kocke od vrlo slabo očuvanih kristalnih relikata (sl. 7). Kod nekih kristala pirita uočeni su pojedini ružičasti delovi usled povećanog sadržaja nikla, što bi ukazivalo na niklonosne pirite, odnosno čak i na njihovo obogaćenje u niklu do prelaska ka bravoitu.

Mestimično se pirit pretvara u markasit, ali su ova pretvaranja vrlo retka i ograničena samo na obodne delove piritskih kristala, a rezultat su supergenih procesa.

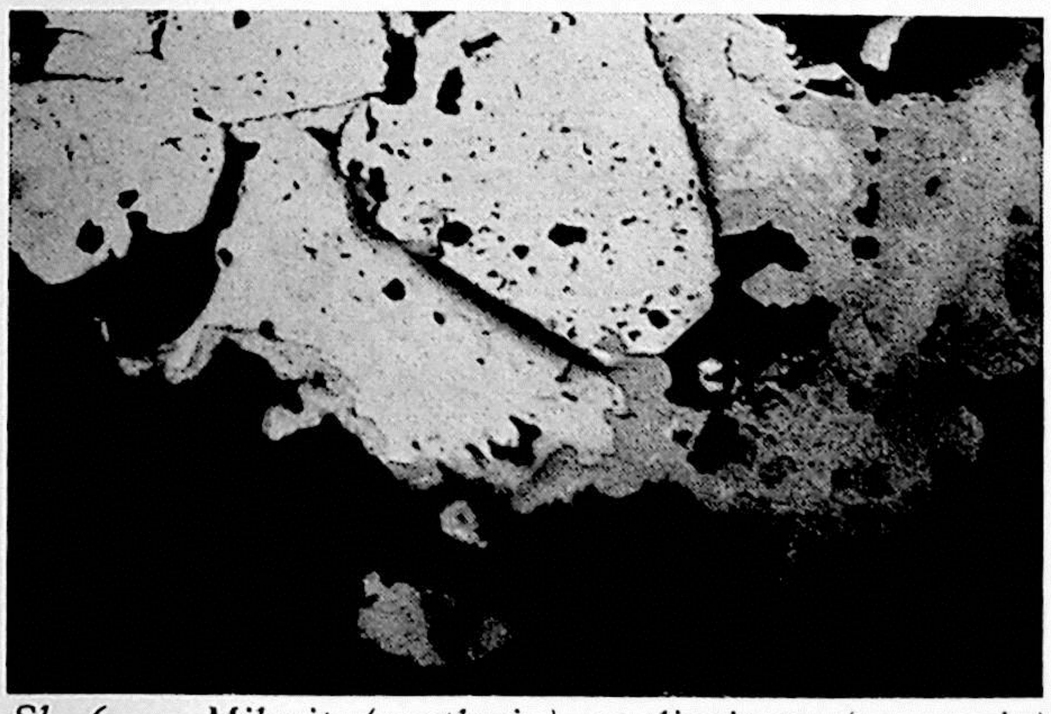
Sfalerit je vrlo redak, ali ipak je nešto zastupljeniji od galenita. Javlja se u nepravilnim zrnima i ponekad prorastao sa galenitom. U njemu nisu zapažena izdvajanja halkopirita.

Paragenetski odnos sfalerita je jasan samo prema galenitu od koga je nešto ranije deponovan. Međutim, sa ostalim mineralima Ni-Co i U strukturni odnosi su nejasni, jer nisu nigde zapažena njihova međusobna prorastanja kao ni direktni kontakti.

U rudištu su izdvojene, prema S. Rakiću, tri generacije sfalerita od kojih je prva sa izdvajanjima halkopirita itd. najzastupljenija, a druga je delimično sa ovim izdvajanjima, ali je i manje zastupljena. Verovatno da bi sfalerit, koji ovde opisujemo, pripadao tom drugom stadijumu hidrotermalne faze, u kojoj su deponovane vrlo oskudne količine ovog minerala.

Galenit je vrlo redak u ovoj paragenezi, mada je inače jedan od najrasprostranjenijih i najznačajnijih minerala u ležištu. Ovde se javlja sa nešto sfalerita u karbonatnom gangu odvojeno od minerala Ni i Co, jer nigde nisu zapaženi njihovi direktni kontakti.

Galenit je verovatno stvaran u epitermalnoj fazi, tj. sa glavnom olovno-cinkanom fazom.



Sl. 6 — Milerit (svetlosiv) sa lineitom (tamnosiv) i piritom (beo). Imerzija, uvećanje 160 ×

Fig. 6 — Millerite (light gray) with linnaeite (dark gray) and pyrite (white). Immersion, 160 ×



Sl. 7 — Pirit (beo) sa malo gersdorfita (siv) korodovan gangom (crn). Imerzija, uvećanje 80 ×

Fig. 7 — Pyrite (white) with lesser gersdorffite (gray), corroded by gangue (black). Immersion, 80 ×

Pomenimo da smo prilikom ispitivanja nekoliko primeraka rude iz glavnih olovno-cinkanih tela našli interesantne strukture galenita i tetraeddrita, na čijem je kontaktu došlo do stvaranja burnonita kao reakcionog produkta, što je instruktivan primer za ovakve procese stvaranja minerala (sl. 8).

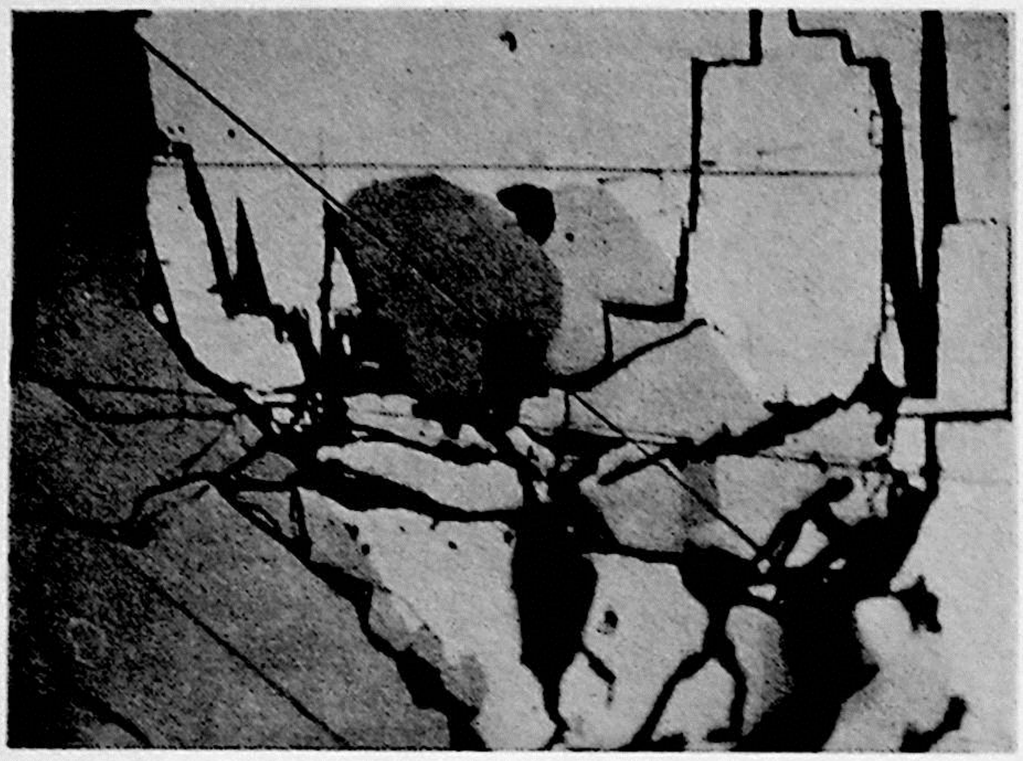
Tetraedrit je zapažen samo u jednom primerku zajedno sa sfaleritom i halkopiritom. On bi odgovarao prvoj generaciji tetraedrita, koju je izdvojio S. Rakić.

Halkopirit se javlja sa tetraedritom u sfaleritu, ali ne u vidu izdvajanja, već kao jedna lamela koja potiskuje stariji sfalerit.

Magnetit i hematit su veoma retki. Magnetit je nađen samo u vidu zaostataka u martitu.

Markasit je nađen samo u nekoliko primeraka i to uvek kao produkt pretvaranja pirita.

Pehblenda(?) se javlja u vidu trošnih, praškastih i vrlo tankih skrama. Ona ovde nije sigurno dokazana, pošto je usled ovakvog njenog načina javljanja bilo gotovo nemoguće od ovog materijala dobiti uglačanu površinu, na kojoj bi se mogla vršiti ispitivanja u odbijenoj svetlosti, a takođe su se, iz istih razloga, pokazali neuspešni i svi



Sl. 8 — Galenit (beo) sa tetraedritom (tamnosiv) i burnonitom (svetlosiv). Imerzija, uvećanje 80 ×

Fig. 8 — Galena (white) with tetraedrite (dark gray) and burnonite (light gray). Immersion, 80 ×

postupci za njenu koncentraciju. Samo u dva slučaja bilo je zapaženo da se radioaktivni materijal nalazi po pukotinicama rudnih primeraka, ali bez prorastanja sa sulfidnim mineralima, već je obično deponovan u međuprostorima ili po njihovom obodu (sl. 9).

U odbijenoj svetlosti ovaj radioaktivni mineral je tamnosive boje, niskog sjaja, ali primetno jačeg od minerala ganga. Neprovidan je ili ponekad sa jedva naglašenim mrko-crnim unutrašnjim refleksijama. Mestimično se mogu zapaziti sferolitna zrna, koja se grupišu u nešto veće agregate, još uvek mikronskih razmera (ispod 50 mikrona), a na njima se ponekad mogu uočiti pukotinice dijageneze, karakteristične za gelozne materije. Na osnovu ovih osobina mi smo pretpostavili da se ovde radi o pehblendi.

Postanak pehblende je najverovatnije sekundaran, gde je poreklo urana od razaranja primarne pehblende, koja je bila deponovana sa primarnim mineralima Ni i Co. Međutim, pehblenda je u ovoj sulfidnoj paragenezi bila nepostojana zbog površinskih uslova u kojima se kasnije našla. Kada su oksidacioni uslovi vladali, primarna pehblenda je razlagana i uran prelazio u rastvor. Sekundarna pehblenda je deponovana onda kada su oksidacioni uslovi zamenjeni redukcionim u kojima se pehblenda mogla sačuvti u istom mineralnom telu u kome je bila ranije primarna, samo što je došlo do njihovog premeštanja i preraspodele urana, sada duž prslinica i pukotinica, zajedno sa ostalim sekundarnim mineralima (anabergit, markasit itd.), koji su takođe produkt pretvaranja primarnih sulfida.

Anabergit se nalazi u vidu skrama koje oblažu rudne minerale kao i minerale ganga. To su jako sitnozrni agregati, zelene boje, bez kristalnih formi i na njima nije bilo moguće vršiti merenja optičkih konstanti. On se javlja kao produkt pretvaranja minerala Ni i Co, pod dejstvom supergenih procesa.

Rendgenskim ispitivanjima dobijene su, dijagramom praha, sledeće vrednosti za d:

I	dÅ	I	dÅ
6	8,—	4	2,07
10	6,75	2	1,93
3	4,95	4	1,90
5	4,37	1	1,83
3	3,87	8	1,65
1	3,63	2	1,60
8	3,19	3	1,55
8	2,98	3	1,53
1	2,87	2	1,49
4	2,72	2	1,45
2	2,64	2	1,38
3	2,52	4	1,33
5	2,44	1	1,28
6	2,30	5	1,25
1	2,21	5	1,21
2	2,18		

Rendgenska ispitivanja su izvršena u mineraloškoj laboratoriji ZNS.

Interesantna je činjenica da je anabergit sada prvi put otkriven u našoj zemlji. Ovaj mineral je uopšte dosta redak, a javlja se kao sekundaran produkt pretvaranja primarnih minerala nikla u oksidacionoj zoni. Takav je slučaj i u rudniku Veliki Majdan, gde se nalazi zajedno sa pehblendom(?), markasitom i limonitom u površinskom delu ležišta.

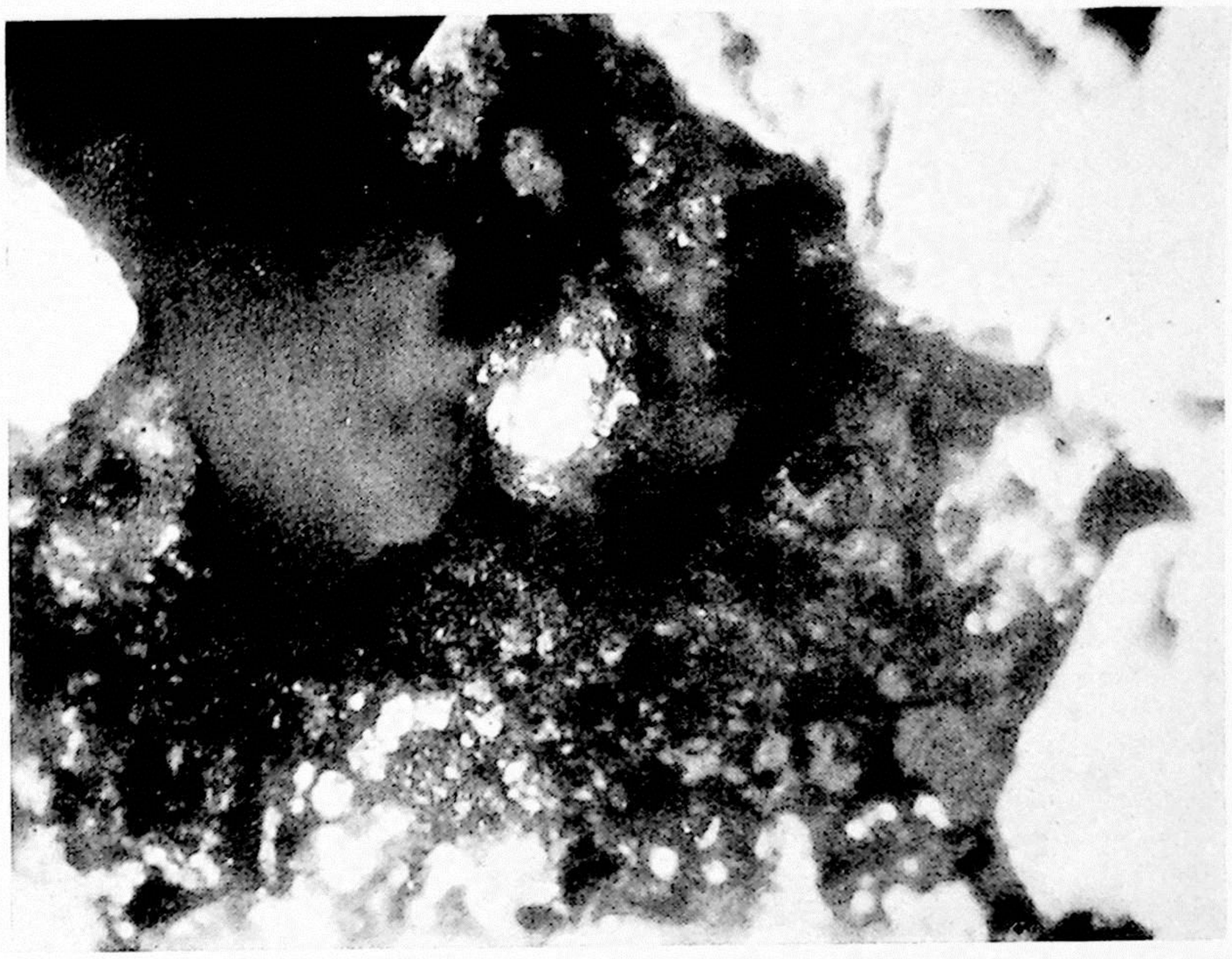
Limonit je vrlo redak i javlja se duž pukotinica mineralnog tela kao produkt pretvaranja minerala gvožđa.

Gang je karbonatni i kvarcni. Karbonatni je znatno zastupljeniji i predstavljen kalcitom. Gang je mlađi od rude i ponekad se sreću lepe strukturne slike potiskivanja rudnih minerala gangom u kojima se samo još naziru konture kristalnih oblika rudnih minerala.

Genetska razmatranja

Pojava urana u Pb-Zn-Sb rudniku Veliki Majdan je najverovatnije u genetskoj vezi sa grano-dioritskim magmatizmom Boranje. Da je ovaj magmatizam bio uranonosan ukazuje i prisustvo uraninita kao akcesornog sastojka grano-dioritskih stena ove oblasti.

U ovom rudniku uran je u asocijaciji sa metalima Ni i Co te bi to odgovaralo tipičnim hidrotermalnim ležištima takozvane Ni-Co-Ag-U-Bi formacije. Iako minerali Ag i Bi nisu nađeni u istoj paragenezi sa uranom, ipak su minerali Ag otkriveni u Pb-Zn rudnim telima, a minerali Bi u skarnovima na južnim padinama Boranje. Tako su postojali uslovi za formiranje rudnih ležišta urana



Sl. 9 — Pehblenda (?) (siva) sa piritom (beo) i gangom (sivo-crn). Imerzija, uvećanje 220 ×

Fig. 9 — Pitchblende (?-gray), with pyrite (white) and gangue (black gray). Immersion, 220 ×

ovakvog tipa u ovoj oblasti. Verovatno da otkrivena pojava nije usamljena, već treba očekivati još takvih ili sličnih, koje će možda biti pošteđene oksidacije i dati pouzdanije podatke za tumačenje genetskih problema, kao i za uslove deponovanja urana i njegovog porekla. Činjenica je da u ovoj radioaktivnoj pojavi u Velikom Majdanu nije nađeno prisustvo primarnih minerala urana. Razlog tome treba tražiti u geološkom položaju u kome se sada ova mineralna asocijacija nalazi, a u kome je bila izložena intenzivnim supergenim procesima. U oksidacionim uslovima pehblenda je nestabilna, a naročito ako je u paragenezi sa sulfidnim mineralima, kao što je ovde slučaj, ona se razlaže a uran prelazi u rastvor. Tako pokrenut uran ponovo je, deponovan, kada su nastupili redukcioni uslovi, i nataložen duž prslinica i pukotinica istog mineralnog tela, gradeći na taj način tanke skrame praškaste pehblende, koja se sada u cementacionim uslovima mogla sačuvati. Pojava stvaranja sekundarne pehblende je slična čestom i opšte poznatom procesu stvaranja markasitskih, halkozinskih i drugih skrama, pretvaranjem primarnih minerala gvožđa odnosno bakra i deponovanjem ovih sekundarnih produkata po prslinicama istog rudnog tela. Na taj način su i u ovoj paragenezi stvoreni anabergit i limonit u oksidacionim, a markasit u redukcionim uslovima.

Prema tome bi i radioaktivni mineral, koji je sada prisutan u ovom mineralnom ležištu, po postanku bio neposredno vezan za supergene procese, a sulfidni minerali, sa kojima je uran verovatno bio prvobitno primarno asociran, su stvarani hidrotermalnim procesima u srednjetemperaturnom stadijumu, kao posebna faza deponovanja mineralnog sadržaja u Pb-Zn-Sb rudniku Veliki Majdan.

LITERATURA

1) Cissarz A., 1956: Lagerstätten and Lagerstättenbildung in Jugoslavien in ihren Beziehungen zum Vulkanismus und Geotektonik. Rasprave VI, Beograd.
2) Janković S., 1960: Allgemeine Charakteristika der Antimon-Erzlager stätten Jugoslawiens, Neues Jahrbuch für Mineralogie. Abhandlungen Band 94. 1. Hälfte. Stuttgart.
3) Karamata S., 1955: Petrološka studija magmatskih i kontaktno-metamorfnih stena Boranje. Glasnik Prir. srp. zemlje. Ser. A, knj. 6. sv. 1, Beograd.
4) Pavlović S., 1938: Izveštaj o geološkom kartiranju lista Zvornik. Izv. o radu Geol. inst. Kr. Jugoslavije za 1937. god., Beograd.
5) Radošević S., 1953: Mineraloški i petrografski sastav rudnika Veliki Majdan i bliže okoline u Selancu. Diplom. rad. Neobjavljeno.
6) Radukić M., 1960: Mineralne parageneze u skarnovima Lipničke Glave na južnim padinama Boranje (zapadna Srbija) Geološki anali Balkanskog poluostrva knj. XXVII. Beograd.
7) Rakić S., 1958: Prilog poznavanju mineralnih parageneza Pb-Zn-Sb rudišta Veliki Majdan. Selanac (zapadna Srbija). Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraživanja SR Srbije, knj. XVI, Beograd.
8) Simić V., 1932: Prilog geologiji zapadne Srbije. Vesnik 1/2. Beograd.
9) Simić V., 1933: Gornji perm u zapadnoj Srbiji. Rasprave I, Beograd.
10) Simić V., 1934: Prilog poznavanju gornjokarbonskih i gornjopermskih fauna u zapadnoj Srbiji. Vesnik III/1. Beograd.
11) Simić V., 1935: Prilog tektonici zapadne Srbije. Vesnik IV/1, Beograd.
12) Simić V., 1938: Izveštaj o geološkom kartiranju lista Zvornik. Izv. o radu Geol. inst. Kr. Jugoslavije za 1937. g., Beograd.
13) Simić V., 1938: O facijama mlađeg paleozojika u zapadnoj Srbiji. Vesnik VI, Beograd.
14) Simic V., 1940: O stratigrafskom položaju porfirita i njihovih tufova u Podrinjskim planinama. Godišnjak Geol. inst. Kr. Jugoslavije za 1939. g. Beograd.

15) Simić V., 1953: Magmatizam i metalogenija naših grano-dioritskih stena u vezi sa volframovim orudnjenjem. Vesnik X, Beograd.
16) Simić V., 1957: Prilog geološkom poznavanju donjeg Podrinja. Vesnik XIII, Beograd.
17) Simić V., 1957: Olovna rudišta u Podrinju i razmatranja o njihovoj metalogenezi. Vesnik XIV, Beograd.
18) Simić V., 1957: O starosti Sb-Hg-As orudnjenja u našim oblastima. Vesnik XIV, Beograd.
19) Urošević S., 1903: Boranja, studija kontaktno-metamorfnih pojava granita. Glas. Srp. Kr. Akad. LXV, 25, Beograd.
20) Žujović J., 1893—1900: Geologija Srbije. Knj. I-II. Poseb. dela Srp. Kr. Akad., Beograd.

SUMMARY

MINERALIZATION OF Ni, Co AND U IN THE Pb, Zn AND Sb MINE VELIKI MAJDAN IN SOUTHWESTERN SERBIA

DUSAN RADUSINOVIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

A number of radioactive occurences have been registered in the mining district of Zajača during the prospection carried out by the Institute for Nuclear Raw Materials in 1962. The detailed investigation of the mineral composition has showed an interesting mineralogic and genetic association of uranium with the minerals of nickel and cobalt. According to the field observations, this mineral association occurs indenpendently, spatialy separated from the lead-zinc and antimony ore bodies, located in the limestones at their contact with the schists of he so called "Facies of Drina", in the immediate vicinity of a dacitic intrusion.

The investigation of the mineral composition has showed the presence of the following minerals: linneite, milerite (formed exclusively from linneite), gersdorfite and pyrite, as the most abundant minerals of this paragenesis; galena, sphalerite, tetraedrite, magnetite, hematite and chalchorvrite are present only in traces. As the product of the supergenic processes due to the vicinity of this radioactive occurences to the surface, the following minerals have been also found: anabergit (for the first time found in Yugoslavia), marcasite, pitchblende (?) and limonite. The gangue minerals are represented by quartz and calcite. There are no firm proots for the presence od the pitchblende, although it could be supposed, according to the dark grey color and low reflection obtained in the microscopic investigation of this radioactive material. The reason for the absence of the primary pitchblende could be explaned, in the autors oppinion, by the close proximity of this ore body to the surface and the strong supergene processes to which it was subjected. The pitchblende is highly unstable under this conditions, particulary in the described paragenesis, where it is easily decomposed under the oxidation conditions and redeposited when the condition become reductive.

The sulfide mineral association, probably originaly containing the primary uranium mineral, was geneticaly connected with the post-magmatic hydrothermal processes of the granodiortic magmatism, and was formed in the mesothermal stage, as a separate phase of the deposition of minerals of Pb-Zn-Sb in the mine of Veliki Majdan.

MOMČILO VUKASOVIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

SEKUNDARNI MINERALI URANA IZ OBLASTI ŽIROVSKOG VRHA KOD MESTA GORENJA VAS U SLOVENIJI

Na severoistočnčoj padini Žirovskog Vrha, kod mesta Gorenja Vas (Slovenija), u površinskoj zoni sivih peščara, permske starosti, nađeni su sekundarni minerali urana.

Ovi minerali se javljaju najvećim delom u prahu, često međusobno intimno izmešani, te se identifikacija uglavnom zasnivala na rendgenskim metodama praha i fluorescencije. U slučajevima kada je to bilo moguće vršena su optička, spektrohemijska i mikrohemijska ispitivanja.

U ovome radu je opisano šest mineralnih vrsta, otkrivenih u ovoj lokalnosti, i to: dumontit, fosfuranilit-renardit, autunit, torbernit, metatorbernit i gumit.

Potrebno je napomenuti da su prvi put nađeni i opisani u našoj zemlji minerali dumontit, serija fosfuranilit-renardit i gumit ovoga tipa.

Početkom juna 1960. godine dobili smo na ispitivanje nekoliko primeraka sekundarnih uranovih minerala, koje je pronašla u oblasti Žirovskog Vrha, kod mesta Gornja Vas u Sloveniji, jedna ekipa koja je radila pod rukovodstvom geologa Đ. Ivanovića i A. Antonovića.

Po makroskopskom izgledu moglo se zaključiti da se radi o novim mineralnim vrstama za našu zemlju. To su bile tanke skrame i impregnacije u steni — pretežno žute, zlatno žute i narandžaste boje. Mestimično su se javljali i zeleni minerali. Tada smo izvršili i njihovo »grubo« određivanje. Na osnovu debajgrama, bez upotrebe drugih dopunskih metoda, indicirano je postojanje ovih mineralnih vrsta: dumontit, torbernit, serija fosfuranilit—renardit i gumit.

Tokom leta iste godine preduzeta su opsežna otkopavanja na SI padini Žirovskog Vrha, u gornjim delovima sivih peščara, breča i konglomerata, čiji mineralni sastav potiče većim delom od stena eruptivnog porekla i gde se uglavnom i javlja uranska mineralizacija (S. Radošević, 1961).

U novembru 1960. izvršeno je uzorkovanje sekundarnih uranovih minerala, sa prvih četiri do pet metara potkopa 2, 3, 4, 5 i 6 radi njihove konačne odredbe. U ovom poslu pružili su mi veliku pomoć geolozi V. Jokanović i Đ. Ivanović.

Prema tome, u ovome radu biće opisani sekundarni minerali urana, koji se nalaze u površinskoj zoni sivih peščara.

Rendgenske fluorescentne analize je uradio Gavrilo Vuković, fizičar, a spektrohemijske Stana Maksimović, mineralog, na čemu im se i ovom prilikom zahvaljujem.

METODE ISPITIVANJA

Izbor metoda proučavanja ovih minerala uslovio je način njihovog pojavljivanja. Ispitivanje je bilo jako otežano, jer se javljaju u tankim prevlakama, u prahu, često međusobno intimno izmešani i bez kristalnih formi izuzimajući torbernit i metatorbernit. Raspadaju se pod pritiskom i pretvaraju u prašinu.

Ovakav način pojavljivanja čini mikroskopska ispitivanja nemogućim, jer su mikroskopski preparati bili uvek u prahu i optičke osobine se nisu mogle odrediti, sem u slučaju torbernita i metatorbernita.

Izabrane su rendgenske metode difrakcije i fluorescencije kao jedino sigurno u ovom slučaju. Ove metode su dopunjene mikroskopskim ispitivanjima, spektrohemijskim i mikrohemijskim analizama. Ipak, najveći deo hemijskih proučavanja je izvršen rendgenskom spektralnom analizom. Ova metoda, u kombinaciji sa difrakcijom, najbolje nam je poslužila u determinaciji.

Ozbiljno ograničenje predstavljala je činjenica da se sa rendgenskim spektrografom, koga poseduje naša laboratorija (Philips PW 1520), ne mogu odrediti prva 22 elementa, kao ni elementi u tragovima.

Ranije je pomenuto da se ovi minerali javljaju u tankim prevlakama, na mineralizovanom peščaru, sa čestim variranjem boje na istom uzorku od limun-žute, žute do narandžaste. Ova okolnost je predstavljala veliku teškoću za dobijanje monomineralnih koncentrata, jer se na osnovu promene boje zasnivala pretpostavka da se jedni pored drugih nalaze više mineralnih vrsta. Iako se boja svakog od ovih minerala menja u vrlo širo-

kim granicama, što zavisi od promene u hemijskom sastavu i drugih faktora, ipak smo razlike u boji uzeli kao osnovicu od koje smo počeli u određivanju ovih mineralnih vrsta.

Minerale za analizu smo izdvojili ručno pod binokularnom lupom. Izdvajanje je vršeno na osnovu boje minerala. Svaki primerak, koji je trebalo ispitivati, prvo je pažljivo pregledan pod ultraljubičastom svetlošću, a zatim pod binokularom. Izdvajali smo posebno svako variranje u boji minerala, tako da smo sa 17 uzetih primeraka izvršili 78 analiza.

Služeći se samo mehaničkim sredstvima za izdvajanje minerala i pripremanje istih za analizu izbegli smo mogućnost isterivanja adsorpcione i kristalizacione vode, koju ovi minerali sadrže u znatnoj količini, a lako je otpuštaju i time izazivaju promene retikularnih rastojanja u rešetki. Mesto sprašivanja, u avanu, vršeno je drobljenje na predmetnom staklu pomoću oštrice noža.

Isitnjeni materijal je stavljen u kapilare prečnika 0,3 mm. Sva snimanja su izvršena u komorama 114,6 mm, sa Cu — zračenjem, radi dobijanja malih vrednosti Bregovih uglova, što je od naročitog interesa kod sekundarnih uranovih minerala, koji se karakterišu koncentracijom refleksija pod malim uglovima Brega. Intenziteti refleksija su ocenjeni vizuelno i izraženi su u skali od 1—10.

Identifikacija minerala je vršena upoređivanjem njihovih rendgenografskih konstanti sa standardnim rezultatima iz priručnika za rendgenografsku identifikaciju minerala.

Svi dobijeni rezultati su potvrđeni, u najvećem broju slučajeva, metodom rendgenske fluorescencije, a kada je to trebalo vršena su mikrohemijska i spektrohemijska ispitivanja.

S obzirom na iznete činjenice o načinu pojavljivanja ovih minerala, rad na njihovoj identifikaciji je bio dug i jako otežan. Trudili smo se da za analize izdvojimo što čistiji materijal i u tome smo imali prilično uspeha, sem u nekim slučajevima gde se nismo mogli osloboditi sitno dispergovanog kvarca. Trebalo je sa velikom pažnjom ispitivati dobijene dijagrame praha i upoređivati ih sa standardnim vrednostima, jer, s jedne strane, nejednaki sadržaj vode i laka dehidraticija izaziva velike promene u retikularnim rastojanjima u kristalnoj rešetki, dok, s druge strane, zbog izomorfnih zamena u anjonskom i naročito u katjonskom delu strukture dolazi do menjanja intenziteta refleksija.

OPIS MINERALA

Proučavana mineralizacija se sastoji iz fosfata urana i gumita.

Determinisani su sledeći sekundarni uranovi minerali:

dumontit,
fosfuranilit-renardit,
autunit,
torbernit,
metatorbernit,
gumit.

Dumontit. — Javlja se u tankim skramama, udružen sa torbernitom, autunitom i gumitom. Ima svetložutu, žutu do oranž boju.

Prašinast je i na njemu se nisu mogla vršiti optička merenja.

Mala količina materijala koja nam je stajala na raspolaganju nije dozvolila vršenje kvantitativnih hemijskih analiza. Identifikacija je izvršena na osnovu dijagrama praha, rendgenske fluorescentne i spektralne analize.

Izvršili smo tri semikvantitativne spektrohemijske analize sa različitih uzoraka, čiji su debajgrami bili identični, a razlikovali su se u boji (varijeteti svetložuti, žuti i oranž). Dobili smo sledeće rezultate: Za svetložuti i žuti: U>1%, Pb>1% P>1000 ppm, Fe>316, Si>316, Mg>316, Al>316, Cu tr. Za oranž: U>1%, Pb>1%, P>1000 ppm, V~316, Si>316, Mg>500, Al>1000, Cu tr., Fe tr.

Svakako da Fe, Si, Mg, Al i Cu potiču od nečistoća, dok prisustvo vanadijuma u uzorku oranž boje verovatno potiče od izomorne zamene PO_4 sa VO_4.

Tabl. 1 — Rendgenografski podaci za dumontit

I	dA	I	dA
1	8,39	5	2,15
4	7,63	5	2,11
4	6,94	4d	2,03
4	6,11	2	1,95
4	5,63	6d	1,91
9	4,29	1	1,86
2	3,82	4	1,83
10	3,72	4	1,76
5	3,48	3	1,73
3	3,30	1/2	1,71
1/2	3,21	1/2	1,68
1/2	3,14	3	1,64
8	3,01	1	1,62
7	2,94	1	1,60
7	2,87	1	1,57
4	2,68	3d	1,52
1	2,59	1/2	1,48
1	2,56	1	1,47
1	2,51	1/2	1,46
2	2,44	1/2	1,44
1	2,40	2d	1,42
2	2,23		

d = difuzna

Članovi serije fosfuranilit-renardit. — Makroskopski se karakterišu žutom bojom sa zelenom nijansom i zemljastim izgledom. Javljaju se u prevlakama. Često su asocirani sa dumontitom.

Rendgenskom fluorescentnom analizom je utvrđeno prisustvo, sem U i Pb, malih količina As, zatim Fe i Cu, koji potiču od prisutnih nečistoća.

Mikrohemijskim reakcijama je dokazano prisustvo Ca i P. Zapaženo je da se karakterišu znatnim promenama u hemijskom sastavu. Te promene su česte od jednog do drugog uzorka i nisu nađeni krajnji članovi ove izomorfne serije.

Dobijeni difrakcioni spektri su u celini identični sa spektrima koji se navode u literaturi za ovu seriju minerala. Nije moguće međusobno razlikovati članove ove serije na osnovu difrakcionih podataka.

Tabl. 2 — Rendgenografski podaci za izomorfnu seriju fosfuranilit-renardit

I	dA	I	dA
2	10,30	1/2	2,25
10	7,98	2	2,22
1	6,30	2	2,16
7	5,86	1	2,11
1	4,97	3	2,09
2	4,75	1	2,04
4	4,38	2	2,01
1/2	4,25	6	1,90
7	3,97	3	1,84
3d	3,84	1/2	1,80
4	3,41	1	1,77
6	3,12	3	1,71
5	3,08	1d	1,66
2	2,95	1	1,59
8	2,88	4	1,54
1	2,59	2	1,51
1	2,48	1	1,48
3	2,43	2d	1,44

d = difuzna

Autunit. — Javlja se u obliku uslojenih listića, žuto-zelene boje, intimno udruženih sa torbernitom. Ima intenzivnu fluorescenciju karakterističnu za autunit. Ova asocijacija je ispitivana sistematski i utvrđeno je da nefluorescentni zelenkasti delovi odgovaraju torbernitu i metatorbernitu, a žuto-zeleni fragmenti, koji živo fluoresciraju, autunitu.

Mineraloška razlika između torbernita i autunita bazirana je na osnovu fluorescencije, dijagrama praha i hemijskih testova.

Metodom fluorescencije dokazano je prisustvo U i Pb (gde je jedan deo Ca zamenjen jednim delom Pb), zatim malih količina As. S druge strane, mikrohemijskim reakcijama je dokazano da su Ca, U i P dominirajući elementi. Elementi otkriveni u tragovima su Cu i Fe.

Tabl. 3 — Rendgenografski podaci za autunit

I	dA	I	dA	I	dA
8	10,15	1	3,12	1	1,92
3	8,71	2	2,88	3	1,77
2	6,68	1	2,71	1	1,64
6	4,95	1	2,51	1	1,59
1	4,50	1	2,38	1	1,56
10	3,59	1	2,20	1	1,53
5	3,51	1	2,15	1	1,37
3	3,34	2	2,05		

Torbernit. — Nalazi se u vrlo sitnim tabličastim kristalima i tankim pločicama, koje su obično asocirane paralelno, ili se uzajamno prožimaju, ili se nalaze u druzama. Mestimično je udružen sa autunitom. Kristalne pljosni su uglavnom dobro razvijene. Najveći individualisani kristali imaju veličinu do 1 mm. Sjaj na 001 je sedefast. Nije fluorescentan. Indeks prelamanja je 1.593.

Dijagram praha se slaže sa odgovarajućim literaturnim podacima za torbernite.

Fluorescentnom analizom je dokazano prisustvo Cu, U i slabi procenat As, a mikrohemijskim reakcijama prisustvo fosfora.

Tabl. 4 — Rendgenografski podaci za torbernit

I	dA	I	dA	I	dA
10	10,03	1	2,35	4	1,63
1	7,45	1	2,30	7	1,59
4	6,62	7	2,24	1	1,57
3	5,14	5	2,18	1	1,55
8	4,96	5	2,16	7	1,52
4	4,49	6	2,06	1d	1,49
1	3,93	1	1,95	4	1,42
10	3,55	5	1,91	1	1,39
8	3,35	1	1,89	5	1,37
3	3,11	1	1,86	3	1,34
2	3,03	1	1,84	2	1,30
4	2,93	9	1,77	1	1,28
4	2,87	1	1,70	2	1,25
5	2,72	3	1,67	2	1,23
6	2,51	1	1,65	4	1,20
6	2,43				

Metatorbernit. — Makroskopski se ne razlikuje od torbernita i javlja se u istim kristalnim oblicima. Mineraloška razlika između ove dve faze je zasnovana na dijagramima praha i indeksu prelamanja.

Postoje jasne razlike u opštem izgledu debajgrama, kao i u većoj vrednosti indeksa prelamanja, koji je meren na dva različita uzorka i u oba slučaja je dobijena vrednost od 1.627.

Fluorescentnom analizom je dokazano prisustvo Cu, U i malog procenta arsena, dok je fosfor dokazan mikrohemijskim reakcijama.

Tabl. 5 — Rendgenografski podaci za metatorbernit

I	dA	I	dA
9	8,50	7	2,00
5	5,36	1	1,89
5	4,88	2	1,84
5	4,28	1	1,81
10	3,65	3	1,77
7	3,48	1	1,75
6	3,22	1	1,71
3	2,93	4	1,63
4	2,65	1	1,60
3	2,52	2	1,58
1	2,46	1	1,56
2	2,37	5	1,41
1	2,24	3	1,41
2	2,21	1	1,38
3	2,16	4	1,36
1	2,11	3	1,33
4	2,05	3	1,31

Neidentifikovani minerali. — Sem navedenih minerala pronašli smo i druge, koje nismo mogli identifikovati, iako u većini slučajeva imaju jasne spektre difrakcije. Međutim, ovi spektri ne odgovaraju do sada poznatim sekundarnim mineralima urana i mi smatramo da su to gumiti.

Ovde pod gumitima ne podrazumevamo klasični gumit kao prvu etapu alteracije primarnog

uraninita ili pehblende, već smešu slabo ili relativno jako hidratisanih oksida i silikata urana. Njihov mineraloški sastav nismo mogli odrediti.

Javljaju se u tankim skramama, koje su često zemljaste, raspadaju se pod pritiskom i pretvaraju u prašinu. Boje su vrlo različite: žute, limun-žute, narandžaste, crvene i zeleno-maslinaste. Kako su uvek u prahu optičke osobine im se nisu mogle odrediti.

Dijagrami praha, iako se odlikuju refleksijama sa jačim intenzitetima, razlikuju se među sobom, što svakako potiče od vrlo promenljivog hemijskog sastava.

Njihov hemijski sastav smo ispitivali metodom rendgenske fluorescencije, te smo pored U utvrdili prisustvo Pb, Cu, Fe i As u vrlo promenljivim količinama od jednog do drugog uzorka.

Prisustvo elemenata do rednog broja 22 nismo mogli odrediti usled nedostatka našeg spektrografa.

ZAKLJUČAK

Kombinovane metode difrakcije i rendgenske fluorescencije, upotpunjene mikroskopskim opažanjima, spektrohemijskim analizama i mikrohemijskim reakcijama omogućile su da se izvrši određivanje sekundarnih uranovih minerala iz oblasti Žirovskog Vrha.

Potrebno je zabeležiti jedan interesantan podatak. Prvi put u našoj zemlji su nađeni minerali dumontit, serija fosfuranilit-renardit i gumiti ovoga tipa.

Svakako da lista sekundarnih uranovih minerala iz ove oblasti nije potpuna i daljim istraživanjima i laboratorijskim ispitivanjima će se svakako otkriti i druge mineralne vrste.

Svi ovi minerali, izuzev torbernita i metatorbernita, makroskopski se karakterišu žutom, svetložutom i oranž bojom bez kristalnih formi i zemljastim izgledom. Često sadrže nečistoće, naročito kvarc.

Ovakav način pojavljivanja čini mikroskopsku determinaciju vrlo teškom i malo sigurnom, ukoliko se rezultati ne bi mogli proveriti drugim metodama ispitivanja, naročito difrakcijom dopunjenom hemijskim testovima.

Od fluorescentnih minerala utvrđeno je prisustvo samo autunita.

I pored vrlo detaljnog proučavanja nisu nađeni arsenijati i vanadati urana.

Priličan broj minerala je ostao neidentifikovan, zato što njihovi rendgenografski podaci ne odgovaraju podacima za do sada poznate sekundarne minerale urana. Njihov hemijski sastav je vrlo promenljiv. Mi smo ih uvrstili u »gumite« ne podrazumevajući ovde tradicionalne gumite, već smešu sekundarnih uranovih minerala, čiji je mineraloški sastav nepoznat.

LITERATURA

1) Agrinier H., 1958: Application de la microanalyse qualitative a la determination des especes secondaires d'uranium. Rapport CEA, № 1065, Saclay.
2) Frondel C., 1958: Systematic Mineralogy of Uranium and Thorium, st. 55-56; 160-177; 208-211; 222-230. U. S. Government Printing Office, Washington.
3) Garavelli L.C., Mazzi, F., 1958: Primo contributo alla conoscenza dei minerali secondari di uranio dei glacimenti di Val Daone e Val Bendena — Studi e richerche della divisione geomineralia, Volume I, parte II, Roma.
4) Garavelli L.C., Mazzi F., 1959: Ulteriori richerche sui minerali secondari di uranio della Val Rendena — Studi e richerce della divisione geomineraria, Volume II, Roma.
5) Radošević S., 1961: Prethodni izveštaj o petrografskom sastavu sedimenata oblasti Žirovskog Vrha kod mesta Gorenja Vas u Sloveniji. Izveštaj u fondu Zavoda za nuklearne sirovine.
6) Van Wembeke L., 1958: Applications des rayons X à l'étude des mineralisations radioactives (Conf. Int. Atom. Genéve, P/106, 1958).

SUMMARY

SECONDARY MINERALS OF URANIUM, FROM THE AREA ZIROVSKI VRH, PLACE GORENJA VAS, SLOVENIA (YUGOSLAVIA)

MOMČILO VUKASOVIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

Secondary minerals of uranium were found on the northeastern slopes of Zirovski Vrh, at the place called Gorenja Vas (Slovenia) in the surface layer of gray sand-stone of perm age.

These minerals appear for the greates part in powder condition, often mutualli intermixed, so that the identification is mainly possible only by X-ray method of the powder and fluorescence. In cases when it was possible, there were made optical spectrochemical and microchemical analises.

There are six kinds of minerals described in this work, a all found out in this locality, viz.: dumontite, phosphuranylite-renardite, autunite, torbernite, metatorbernite and gummite.

It must be meutioned that minerals dumontite, a series of phosphuranylite-renardite and gummite of this type were found for the first time in our country.

MOMČILO VUKASOVIĆ
NADA MIHAILOVIĆ-VLAJIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

BRANERIT IZ TOPOLČANA KOD PRILEPA

Mineral branerit je nađen u silifikovanim partijama kvarc-sijenita, koji izgrađuje veći deo sijenitskog masiva oblasti Topolčana kod Prilepa. Otkriven je prilikom ispitivanja akcesornih minerala ovoga masiva u paragenezi sa cirkonom bogatim torijumom, radioaktivnim rutilom, sfenom i baritom.

Hemijski sastav i dijagram praha, posle zagrevanja, su vrlo slični braneritu iz Kalifornije, s tom razlikom, što branerit iz Topolčana pre zagrevanja ne daje difrakcionu sliku.

Prilikom ispitivanja akcesornih minerala sijenitskog masiva iz Topolčana (oblast Crnog Kamena) kod Prilepa, u jednom primerku je nađen mineral branerit. Javlja se u silifikovanim delovima sitnozrnog kvarc-sijenita, koji je izgrađen od mikroklina, arfedsonita, egirin-augita i u manjoj meri kvarca i albita. Glavni akcesorni minerali ove stene su, pored branerita, cirkon bogat torijumom, radioaktivni sfen, radioaktivni rutil, barit i apatit.

Kako je branerit nađen samo u jednom primerku opisane stene (U—51877), koja izgrađuje veći deo sijenitskog masiva ove oblasti, to se o njegovoj rasprostranjenosti ne može ništa detaljnije reći.

S obzirom da smo raspolagali malom količinom materijala, pored merenja specifične težine, izvršene su samo rendgenska i spektrohemijska analiza.

Rezultati laboratorijskih ispitivanja. — Branerit se javlja u prizmatičnim kristalima veličine ispod 0,1 mm (sl. 1) i u ksenomorfnim zrnima, nešto krupnijim, čija je veličina ispod 0,3 mm (sl. 2).

Boja minerala je crna i menja se od mrke do žuto-mrke. Na svežim prelomnim površinama je staklastog sjaja, a na raspadnutim je pokriven mrkim produktima pretvaranja. Prelom je školjkast. Spec. težina je 4,64. U propuštenoj svetlosti je neprovidan. Metamiktan je. Pre zagrevanja, i posle produžene ekspozicije nije dobijena difrakciona slika. Mikroskopski čista proba isitnjenog minerala, koja je prethodno zagrevana u vazduhu na 900°C, 30 minuta, dala je oštre difrakcione prstenove na rendgenogramu praha.

Intenziteti linija kao i d vrednosti se slažu sa odgovarajućim vrednostima za branerit iz Mono County, Kalifornija, sa kojim smo vršili upoređivanje, jer su za njega dati najpotpuniji podaci. Manje razlike, koje postoje između dijagrama praha branerita iz Kalifornije i branerita iz Topolčana, svakako potiču od eksperimentalnih uslova rekristalizacije, koji imaju uticaja na dobijene rezultate (Pabst, A., 1954).



Sl. 1 *Fig. 1*



Sl. 2 *Fig. 2*

Tabl. 1 — Rendgenografski podaci za branerite

1		2	
I	dA	I	dA
3	6,07	1	6,02
5	4,70	5	4,72
2	4,31	1	4,29
10	3,42	10	3,42
6	3,32	6	3,34
3	3,02	3	3,08
5	2,91	9	2,94
4	2,76	4	2,784
4	2,511	4	2,540
7	2,455	6	2,470
2	2,426	1	2,423
7	2,276	4	2,292
2	2,151	1	2,141
1	2,080		—
4	2,029	5	2,043
2	2,017	1	1,985
8	1,903	5	1,930
6	1,861	5	1,880
1	1,776	1	1,808
3	1,729		—
4	1,700	3	1,707
6	1,623	8d	1,633
4	1,609		—
2	1,585	6d	1,580
5	1,569		—
3	1,557	3	1,536
1	1,489	1	1,486
2	1,481	1	1,470
2—	1,461		—
2+	1,440	1	1,443
1—	1,411	1	1,420
4+d	1,371	3d	1,383
3—	1,308	2	1,310
1+d	1,289		—
2—	1,268	3	1,270
3	1,255		—
1—	1,242		—
3	1,230	2	1,237
	—	2	1,174
	—	2	1,146
	—	2	1,138
	—	1	1,030

1. — Branerit iz Mono County, Kalifornija, žaren u vazduhu na 1000°C. Podaci prema A. Pabst-u (1954).
2. — Branerit iz Topolčana kod Prilepa, žaren 30 minuta na 900°C. Cu zračenje, Ni filter.

Spektrohemijska polukvantitativna ispitivanja u oblasti 2850—4700 A, koja je izvršio mineralog Milorad Arsenijević data su u tabl. 2.

Tabl. 2 — Spektrohemijska polukvantitativna analiza branerita iz Topolčana

Sadržaj	%						
	>1	>0,31	>0,10	0,30	0,10	tr.	*Prisutni
Elementi	Ti, U, Th, Nb		Yb, La, Gd, Er, Dy, Zr	Pb	Ba, Sr, Mn	Be	Fe, Al, Ca, Mg, Si, Cu

* Nisu određivani polukvantitativno.

Ovo je do sada prvo nalazište branerita u našoj zemlji.

Nadamo se da će podaci, koje smo izneli u ovome radu, biti još jedan prilog boljem poznavanju ovog minerala.

LITERATURA

1) Frondel C., 1958: Systematic Mineralogy of Uranium and Thorium, str. 333—337. U. S. Government Printing Office, Washington.

2) Heinrich E. Wm., 1958: Mineralogy and Geology of Radioactive Raw Materials, str. 49—50. McGraw-Hill Book Comp, New York.

3) Hess Frank L., and Wells Roger C., 1920: Brannerite, a new mineral. Journal of The Franklin Institute, Vol. 189, Nos. 1129—1134, str. 225—237, Philadelphia.

4) Nuffield W. E., 1954: Brannerite from Ontario, Canada. The American Mineralogist, Vol. 39, str. 520—522. Washington.

5) Pabst A., 1954: Brannerite from California. The American Mineralogist, Vol. 39, str. 109—117. Washington.

SUMMARY

BRANNERITE FROM TOPOLCHANE NEAR PRILEP (YUGOSLAVIA)

MOMČILO VUKASOVIĆ
NADA MIHAILOVIĆ—VLAJIĆ
Institute for nuclear raw materials, Beograd

Mineral brannerite was found in siliceous parties of quartz-syenite, building up the greater part of the syenite massif of the Topolchane district, near Prilep. It was discovered on exammining the accesory minerals of this massif in paragenesis with zircon enriched with thorium, radioactive rutile, sphene and barite.

Shemical components and powder diagram after heating are very similar to brannerite from California, save that brannerite from Topolchane does not give the difraction pattern before heating.

DRAGOSLAV R. NIKOLIĆ

Mineraloško-petrografski zavod Univerziteta u Beogradu

KOLUMBIT IZ PEGMATITA KUKAVICE (JUŽNA SRBIJA)

Minerali iz grupe kolumbit-tantalit nisu bili do sada konstatovani u našoj zemlji. Detaljnim ispitivanjem pegmatita Kukavice prvi put je u njima, a u isto vreme i u našoj zemlji, nađen kolumbit.

Ispitan je optičkim, fizičkim, rendgenskim, diferencijalno- termičkim i semikvantitativnim spektrohemijskim metodama. Rezultate ovih ispitivanja na osnovu kojih je utvrđeno da ovaj mineral pripada kolumbitu i odgovara vrsti ferokolumbita, dajemo u ovom radu. Objanšjenje porekla i postanka kolumbita u pegmatitima Kukavice dajemo dvema hipotezama, koje se zasnivaju na dosadašnjim objašnjenjima porekla i postanka minerala iz grupe niobo-tantalata u pegmatitima.

UVOD

Prilikom terenskog ispitivanja pegmatita oblasti Kukavice u 1957. godini u okviru Saveznog geološkog zavoda u Beogradu konstatovali smo, prvi put u našoj zemlji, kolumbit u pegmatitima ove oblasti. Ovo je druga lokalnost na Balkanu u kojoj je nađen kolumbit. Prvi put je kolumbit nađen u pegmatitima centralnih Rodopa, kod sela Višnjeva u Bugarskoj, od strane I. Kostova, a što iznosi u radu V. Breskovska [1].

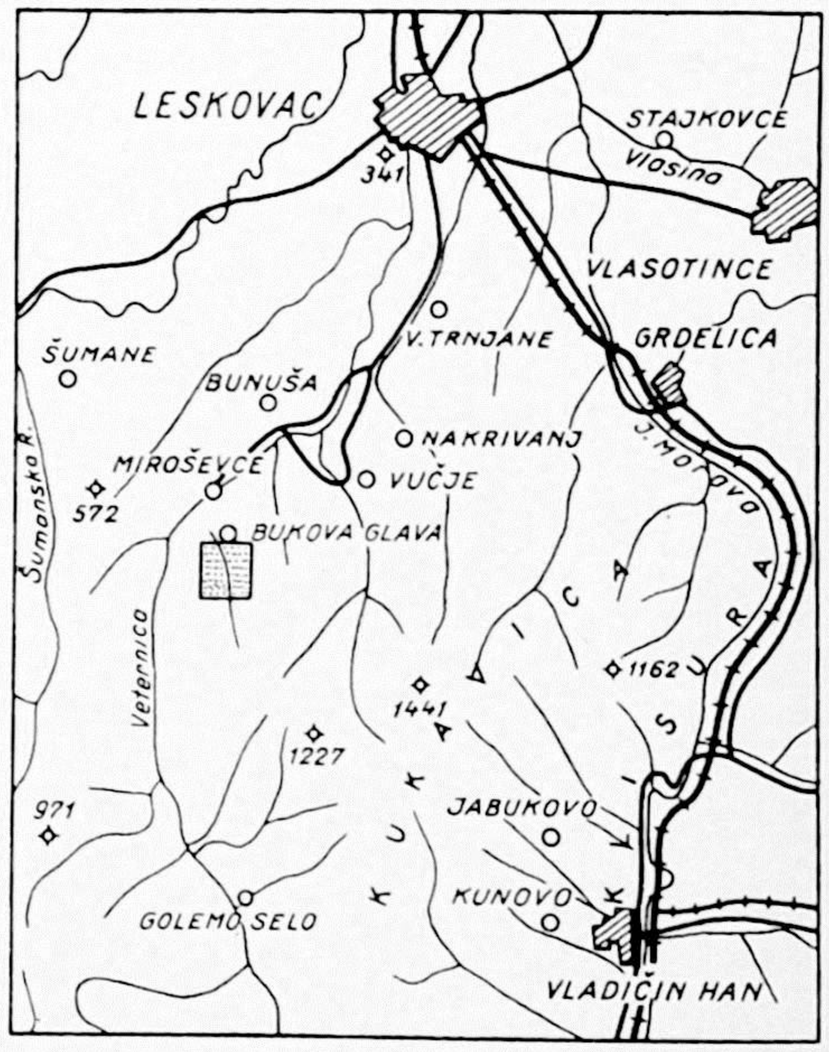
Pegmatiti, u kojima je nađen kolumbit, kod nas pripadaju pegmatitima planine, odnosno oblasti Kukavice i nalaze se na severozapadnim padinama Kukavice u dolini reke koja protiče kroz selo Bukova Glava, a uliva se u Veternicu kod sela Miroševca. Mesto nalaska obeleženo je na karti (sl. 1).

NALAZIŠTE

Kolumbit je nađen u svim pegmatitskim žicama kod sela Bukova Glava. Pegmatitske pojave nalaze se u kristalastim škriljcima i predstavljaju interkalisani tip žica. Moćnost ovih pegmatitskih žica retko prelazi debljinu 2 m, dok su žice moćnosti od 1 m znatno češće. Ove pegmatitske žice, po svojim teksturnim i zonarnim svojstvima, su dvojake i to: sitnozrne do srednjezrnaste sa nejasnom zonarnom građom i krupnozrne sa jasno izraženom zonarnom građom. Kolumbit se javlja najčešće u bočnoj i spoljašnjoj zoni. Veličina kristala ne prelazi 2 cm u prečniku (sl. 2) Sitniji kritsali od navedene veličine su znatno češći. Rasprostranjenje, odnosno zastupljenost kolumbita u ovim pegmatitskim žicama nije ravnomerno, već se javlja koncentrisan na pojedinim mestima u pegmatitskim žicama, u asocijaciji sa kvarcom, feldspatom, muskovitom, berilom i cirkonom. Takođe je nađen u nanosu reke i potoka u ovoj lokalnosti u polomljenim pločastim kristalima.

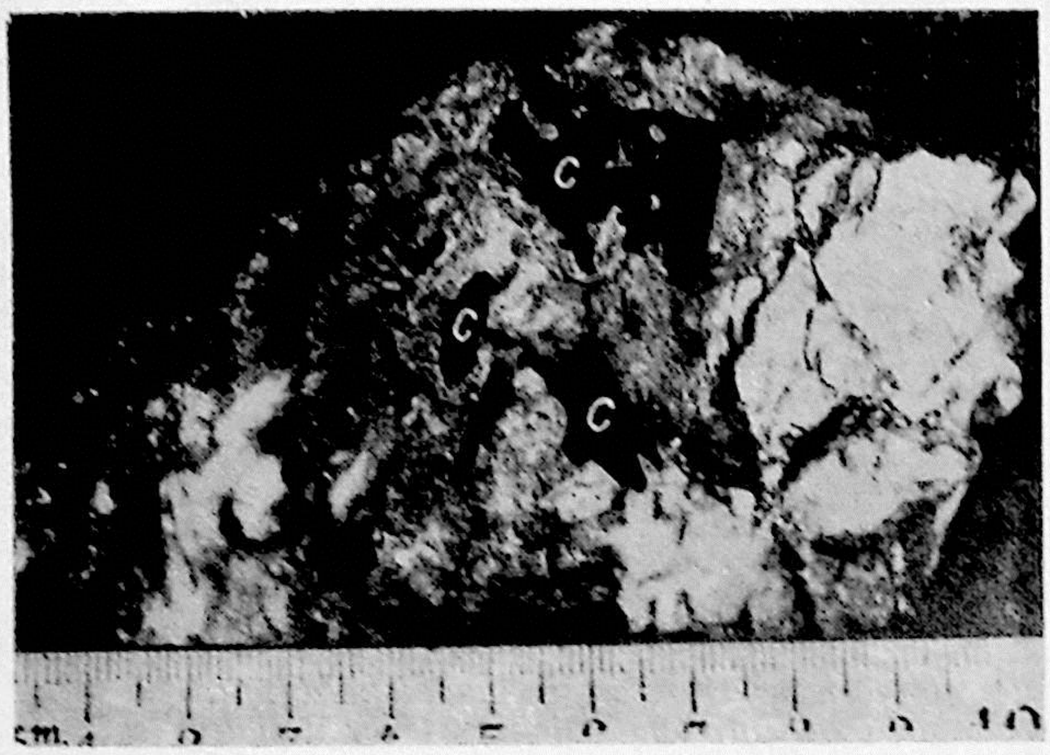
REZULTATI FIZIČKOG PROUČAVANJA

Kolumbit se javlja u pločastim kristalima (sl. 2) sa jasno razvijenom formom (010) ili (100). Međutim, verovatno je da se radi o formi (010)



Sl. 1 — Karta oblasti u kojoj je nađen kolumbit u pegmatitima Kukavice

Fig. 1 — The general Map of Kukavica mt. area with occurrences of columbite-bearing pegmatites



Sl. 2 — Kolumbit (C — crno) u pegmatitu

Fig. 2 — Columbite (C — black) in pegmatite specimen

koja je znatno češća kod ovog minerala i koja kod izvesnih kristala uslovljava pojavu pločastih kristala, ukoliko je izrazito razvijena, kao što je slučaj sa kolumbitom, iz Black Hills-a, čije forme daje Dana's [2], a što je verovatno i sa formom našeg kolumbita. Ostale forme na kristalima kolumbita nisu zapažene na materijalu koji je ovim ispitivanjem sakupljen.

Boje je crne sa jasnim smolastim sjajem. U tankim presecima je prozračan i crveno-mrke boje. U mikroskopu u propuštenoj svetlosti je u tankim presecima providan, crvene sa nijansom mrke boje i jasno anizotropan, optički dvoosan, pozitivan. U mikroskopu za odbijenu svetlost boje je sivo-bele sa malom količinom odbijene svetlosti. Pokazuje slabu anizotropiju i česte unutrašnje reflekse mrko-crvene boje. Ispitivanjem u mikroskopu pokazuje se, u pogledu sastava, homogen i bez prisustva drugih minerala.

Specifična težina kolumbita, merena hidrostatičkim terazijama, je 5,86, što pokazuje prema Hintze-u [3] da se radi o kolumbitu sa količinom Ta_2O_5 od 20—25%.

Rendgenski dijagram praha kolumbita snimljen u komori za prah poluprečnika 57,3 mm pod uslovima CuKα (λ=1,5418Å) filtar Ni dao je refleksije sa sledećim d vrednostima:

I	d	I	d
6	3,63	9	1,46
3	3,26	4	1,38
10	2,96	1	1,33
4	2,46	1	1,30
2	2,24	1	1,24
3	2,07	1	1,23
2	1,90	7	1,20
2	1,84	1	1,15
2	1,78	3	1,13
9	1,73	3	1,11
7	1,53	4	1,09

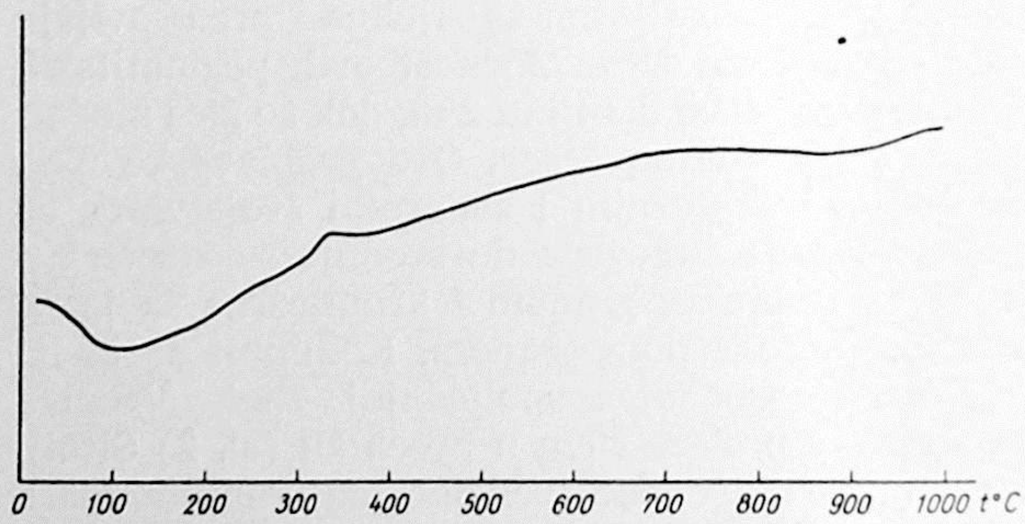
Rendgensko ispitivanje kolumbita izvršeno je od strane M. Vukasovića, mineraloga. Dobijene d vrednosti za refleksije sa rendgenskog dijagrama praha pokazuju neznatne razlike kako u veličini refleksija, tako i u pogledu intenziteta od vrednosti koje navode u rendgenskoj kartoteci ASTM [4] i Miheev [5], a što je i razumljivo, jer ovi minerali čine izomorfnu seriju minerala kolumbita i tantalita, dok se, s druge strane, oni razlikuju i u pogledu sadržaja gvožđa i mangana, te je zbog toga neosnovano tražiti postojanje stalnih veličina d vrednosti za ove mineralne vrste. Međutim, na osnovu d vrednosti moguće je, samo prema postojećim podacima, odrediti da pripada kolumbitu, ali ne i vrstu kolumbita.

Diferencijalno-termička analiza kolumbita urađena je od strane D. Pešića, mineraloga. Kolumbit je zagrevan 15°/minut sa termospojem chromel-alumel sa osetljivošću od 0,1 mV i dobivena je sledeća diferencijalno termička kriva (sl. 3).

Diferencijalno-termička kriva pokazuje endotermnu reakciju od 120°, što odgovara otpuštanju vlage i vrlo slabu egzotermnu reakciju od 300° do 340°, koja verovatno odgovara mogućnoj prekristalizaciji ili oksidaciji ovog minerala. Ovo je prvi pokušaj da se svež kolumbit podvrgne diferencijalno-termičkom ispitivanju da bi se videlo da li i on daje izvesne efekte, kao što je to slučaj sa metamikt mineralima iz grupe niobotantalata, a što je bio predmet ispitivanja J. Kulpa, H. Vohchok-a i H. Holland-a [6] i [7] radi pokušaja određivanja apsolutne starosti i proučavanja metamikt stanja. Međutim, našim ispitivanjem ova metoda pokazala je da sveži kolumbiti ne daju neke značajne efekte, kao metamikt minerali.

REZULTATI HEMIJSKOG ISPITIVANJA

Hemijski kolumbit je proučen jedino na osnovu dobijenih podataka semikvantitavine spektrohemijske analize urađene od strane S. Maksimović, mineraloga. Kolumbit je ispitan u oblasti



Sl. 3 — Dijagram diferencijalno-termičke krive kolumbita

Fig. 3 — Diagram of DTA curve of columbite

spektra od 2.800 do 4.500 Å talasne dužine i analiza je pokazala sledeći sastav:

Glavni elementi: Nb i Ta
Elementi preko 0,1%: Fe i Mg (Al i Si)
Elementi u tragovima: Mn > 1.000 ppm.
Ti > 1.000 ppm.
Zr > 1.000 ppm.
Ni oko 1.000 ppm.
Y 2.000 ppm.

Semikvantitativna spektrohemijska analiza kolumbita pokazala je glavne elemente Nb i Ta, što potvrđuje rezultate fizičkog ispitivanja da ovaj mineral pripada kolumbitu. Prisustvo znatno veće količine Fe, koje nije moglo da bude semikvantitativno utvrđeno, i znatno manje prisustvo Mn ukazuje da se radi o ferokolumbitu. Prisustvo Si i Al verovatno da ne vodi poreklo iz kolumbita, već iz drugih minerala, koji su kao primese ili nečistoće u kolumbitu. Prisustvo Ti, Zr, Y i Ni u kolumbitu u manjim količinama je normalno, a što je već ranijim radovima konstatovano, i što navode Dana's [2] i Hintze [3].

GENEZA I PARAGENEZA

Pegmatiti sa kolumbitom verovatno su granitskog porekla, na šta ukazuje prisustvo izvesnih minerala koji su nađeni pored kolumbita u ovim pegmatitskim žicama. Pegmatitske žice, u kojima je nađen kolumbit, odgovaraju niskotemperaturnim pegmatitskim žicama u ovoj oblasti. Našim ispitivanjima, koja su još u toku, mogu se dati dve pretpostavke o poreklu kolumbita u ovim pegmatitskim žicama. Prvo, da je kolumbit postao direktno kristalizacijom iz pegmatitskih rastvora i da je vezan za fazu koja odgovara temperaturnom intervalu od 700 do 600°C po Fersmanu [8] i [9], a što odgovara fazi između epimagmatske i pegmatitske. Druga pretpostavka bi bila da je poreklo kolumbita vezano za proces albitizacije, koji je sledio samu kristalizaciju glavnog dela minerala ovih pegmatitskih žica, i da je proces albitizacije glavni nosilac Nb i Ta u ovim pegmatitima.

Navedene hipoteze o poreklu kolumbita u pegmatitskim žicama ostaju sve dok rezultati daljih ispitivanja ne ukažu mogućnost prihvatanja jedne od njih.

ZAKLJUČAK

Ovim ispitivanjem prvi put je u Jugoslaviji nađen kolumbit, koji po svojim fizičkim i hemijskim osobinama ukazuje na vrstu ferokolumbita. Sadržaj od 20 do 25% Ta_2O_5, dobijen iz specifične težine, ukazuje na kolumbit koji se jasno približava tantalitu. Boja minerala i boja unutrašnjih refleksa u kolumbitu, kao i stepen prozirnosti, ukazuju na ferokolumbit, što je i semikvantitativno spektrohemijski potvrđeno.

Nalaz kolumbita i drugih pneumatolitskih minerala u ovim pegmatitima, koji su karakteristični za granitne pegmatite siromašne kalcijumom, što navodi E. Wm. Heinrich [11], potvrđuje mišljenje da su ovi pegmatiti granitskog porekla. Postanak, odnosno kristalizacija kolumbita u ovim pegmatitima ostaje hipotetička i moguće je dati dve postavke i to: prvo, da je kristalizacija kolumbita vezana za kristalizaciju pegmatitskih rastvora i, drugo, da je vezana za proces albitizacije, koji je sledio samu kristalizaciju i koji bi u tom slučaju bio nosilac Nb i Ta. Fersman [8] i [9] i drugi smatraju da su ovi rastvori, odnosno proces albitizacije, glavni nosioci Nb, Ta, Be, Li, Sn, W i drugih retkih metala u pegmatitima.

LITERATURA

[1] В. Бресковска: Год. на Соф. Универс., кн. 2, геологија, том XLVIII, 1952/53—1953/54, Софија, 1954.
[2] Dana's: The system of mineralogy, vol. I, New York, 1944.
[3] C. Hintze: Handbuch der Mineralogie I—4, Berlin, 1933.
[4] ASTM: Index to the X-rey powder date file 1957.
[5] В. И. Михеев: Рентгенометрический определитель минералов, Москва, 1957.
[6] P. F. Kerr and H. D. Holland: Am. Min. vol. 36, Nos. 7 and 8, 1951, pp. 563—573.
[7] J. L. Kulp, H. L. Volchok and H. D. Holland: Am. Min. vol. 37, Nos. 9 and 10, 1952, pp. 709—719.
[8] А. Е. Ферсман: Пегматити СССР I и II, Москва, 1936.
[9] А. Е. Ферсман: Изабраные труды, том II и III, Москва, 1952.
[10] E. Wm. Heinrich: Mineralogy and geology of radioactive raw materials, New York, 1958.

SUMMARY

COLUMBITE FROM KUKAVICA MOUNTAIN (SOUTH SERBIA)

DRAGOSLAV R. NIKOLIĆ
Institute for Mineralogy and Petrography, the University of Beograd

For the first time in our contry, columbite has been found in pegmatites of the southwestern part of Kukavica mt. Mineral occurs in the outer zone of pegmatite bodies, containing quartz, feldspar and muskovite and is associated sometimes with beril and zircon. Crystals are od the tabular forms with predominant face (010). Values for sp. gravity of 5.86 correspond to the columbite with 25% Ta_2O_5. X-ray diagram and DTA curve are given (Fig 3).

The results of spectrochemical semiquantitative analysis are given on page. It can be seen that we are dealing with columbite which contain more Fe than Mn (ferrocolumbite). Al and Si are atributed to the mixtures of other silicates which are finely dispersed in columbite.

Pegmatites in which this mineral occurs correspond to the low temperature pegmatite veins which are found in this region. Columbite is either a primary mineral in pegmatites, or is conected with the process of albitization, which is, however, of weak intensity.

NADEŽDA MIHAILOVIĆ-VLAJIĆ

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

O ISPITIVANJU AKCESORNIH MINERALA

Ispitivanje akcesornih minerala, tj. praktična primena ispitivanja akcesornih minerala, je novijeg datuma. S obzirom na sve veći značaj primene ovih ispitivanja u praksi, sve se više i intenzivnije razvijaju i metode ispitivanja. Ispitivanja akcesornih minerala su naročito primenjena na granitoidne stene. Mogućnosti njihove primene su sledeće:

a) u korelativne svrhe. Ovo je naročito pogodno kod vremenski bliskih sukcesivnih faza, gde metode ispitivanja starosti otkazuju baš usled te vremenske blizine;

b) utvrđivanje veze žičnih ekvivalenata sa intruzivom ili određenim fazama intrudovanja;

c) nalaženje orudnjenja pojedinih metala u određenoj oblasti.

Ispitivanja akcesornih minerala vrše se na veštačkim šlihovima dobijenim mlevenjem i frakcionisanjem proba granitoidnih stena određenih težina. Praktična primena se ostvaruje sumiranjem rezultata dobijenih ispitivanjem niza proba. Pri ispitivanju se moraju obuhvatiti sledeći elementi:

a) kvalitativna analiza (moraju se konstatovati svi akcesorni minerali);

b) kvantitativna analiza (pri ovome se izražava zastupljenost svih akcesornih minerala u težinskim procentima);

c) ispitivanje fizičkih osobina akcesornih minerala (boja, sjaj i oblik minerala. Pri ispitivanju oblika minerala, ukoliko se mineral javlja u kristalnom obliku, naročito je važno tačno naznačiti preovlađujuću kombinaciju formi kristala jednog minerala u svakoj probi ponaosob).

Skup svih ovih rezultata iz svih proba jedne oblasti se na kraju interpretira, a praktična primena, već prema potrebi, može ići u gore navedenim pravcima. Vrlo često se pri interpretaciji upotrebljavaju i mikroelementi, koji se dobijaju spektralnim ispitivanjem čistih koncentrata akcesornih minerala.

U Zavodu za nuklearne sirovine ispitivanje akcesornih minerala vrši se od 1960. godine. Ispitivanja su počela pri fundamentalnom ispitivanju granita Jugoslavije, a primenjuju se i pri detaljnim ispitivanjima oblasti.

Akcesorni minerali predstavljeni su u stenama sa 10—30 vrsta. No, iako ih ima znatno više nego glavnih minerala stene, oni su dugo vremena bili zapostavljani pri proučavanju stena. S obzirom da se uslovi obrazovanja ruda i stena ustanovljavaju pre svega na osnovu njihovog mineralnog sastava, to se danas obraća sve veća pažnja njihovim kompletnim mineraloškim i finim geohemijskim ispitivanjima monomineralnih koncentrata akcesornih minerala. Takođe je pri ovim ispitivanjima potrebno obratiti pažnju i na parageneteske odnose minerala, jer zapažanja tih odnosa i njihovih promena vrlo dobro održavaju uticaj spoljnih uslova. Parageneza minerala, kao i fizičke i hemijske osobine, zavise ne samo od temperature i pritiska, već i od koncentracije i režima rastvora pri kojima se oni obrazuju.

Zbog toga, ispitivanje akcesornih minerala poslednjih godina zauzima sve važnije mesto u geologiji, jer omogućava, upotpunujući petrološka, geohemijska i metalogenetska istraživanja, kompletno sagledavanje svih faza života jednog intruziva.

Ispitivanja akcesornih minerala za sada se najviše vrše pri ispitivanju granitoidnih stena, a znatno manje pri ispitivanju bazičnih stena. Proučavanje intruziva je u intenzivnom razvoju samo u SSSR-u. Ono je u zadnje vreme dalo vrlo lepe rezultate.

U Zavodu za nuklearne sirovine mineraloško ispitivanje stena primenjuje se od 1958. godine. Prvo je bilo primenjeno pri ispitivanju radioaktivnih primeraka u cilju utvrđivanja minerala nosilaca radioaktivnosti i mineralnih parageneza. Tek od 1960. godine ove analize se primenjuju i u širem smislu, tj. za ispitivanje akcesornih minerala pri fundamentalnom i detaljnom ispitivanju granitoidnih masiva.

METODE PRIPREME I ISPITIVANJA

Uzimanje uzoraka. — Za ispitivanje se uzimaju uzorci različitih težina u vezi sa namenom ispitivanja i zastupljenošću akcesornih minerala u stenama ispitivane oblasti. Uglavnom se uzorci

mogu podeliti na: a) uzorke velikih težina (od 20 kgr naviše, nekad i do 300 kgr) i b) uzorke manjih težina (od 5—20 kgr).

a) Uzorci velikih težina imaju svoje nedostatke koji se sastoje u sedećem:

— prilikom uzimanja uzoraka velikih težina tj. masovnih količina stene, mogu se i nehotice unutar blokova stene zahvatiti manji uklopci materijala pokrovnih i okolnih stena. Svarivanjem ovih uklopaka magma se mogla samo lokalno, na tom mestu, obogatiti nekim akcesornim mineralima, koji inače u povećanoj količini nisu karakteristični za dati varijetet stene unutar intruziva, ili za dati intruziv u celini. Ova pojava može dovesti do stvaranja pogrešnih zaključaka (pogotovu ako se iz svakog varijeteta intruziva uzima samo po jedna ovakva proba) o mineraloškim karakteristikama stena, a koji nekad mogu biti od presudnog značaja, ukoliko se želi dobiti jasna slika o pojavama asimilacije;

— velika količina materijala zahteva poluindustrijsku pripremu, a kod ovakvog načina pripreme akcesorni minerali, koji se često javljaju u vidu inkluzija u glavnim mineralima stene ili u međuprostorima njihovih zrna, gube se u jalovini i međuproduktu u mnogo većoj količini nego što je to slučaj kod pripreme proba manjih težina. Ovakvo povećano rasipanje akcesornih minerala po frakcijama znatno smanjuje mogućnost približno tačnog određivanja procentualnog sastava minerala.

b) Uzorci manjih težina u praksi su se pokazali kao mnogo povoljniji kako za pripremu tako i za ispitivanje intruziva.

U cilju fundamentalnog istraživanja mnogo je pogodnije uzeti po nekoliko uzoraka manjih težina iz svakog varijeteta stene ponaosob (sa različitih mesta), umesto jedne probe velike težine. Pri detaljnom ispitivanju oblasti najpovoljnije je uzeti uzorke manjih težina po mreži unapred utvrđene razmere. Najpogodnija težina za detaljna ispitivanja je težina od 10 kg, koja ne zahteva poluindustrijsku pripremu, a u najvećem broju slučajeva omogućava dovoljne količine karakterističnih akcesornih minerala za ispitivanje. S druge strane, laboratorijska priprema omogućava tačno izračunavanje težinskih procenata akcesornih minerala.

Metode pripreme. — Kao što je već napred rečeno, težina uzorka utiče na način njegove pripreme. Kod uzoraka velikih težina upotrebljava se poluindustrijski način pripreme — drobljenje u drobilicama i masovna koncentracija na vibracoinim stolovima. Kod uzoraka manjih težina drobljenje se vrši u avanima sa čestim prosejavanjem do određene veličine zrna. Pri ovom načinu pripreme znatno se smanjuje mogućnost rasipanja akcesornih minerala po frakcijama. Rasipanje akcesornih minerala u ovom slučaju se može utvrditi već poznatim statističkim metodama. Pre daljeg frakcionisanja ovako drobljeni materijal potrebno je isprati vodom, da bi se sa mineralnih zrna odstranile opne fine prašine nastale drobljenjem.

Metode separacije. — Ovako pripremljen koncentrat stene ili rude dalje se grubo frakcioniše teškim tečnostima (specifične težine — 2,93 — 3,33 — 4,04), a zatim na elektromagnetu. U Zavodu za nuklearne sirovine upotrebljava se elektromagnet tipa »Frantz isodinamyc separator«, koji je vrlo pogodan (zbog mehaničkog uređaja) i za finija separisanja. Na ovom elektromagnetu grubo frakcionisanje se vrši pod horizontalnim nagibom od 15°, a na jačini od 0,5,1 i 1,5 A.

Za izdvajanje čistih monomineralnih koncentrata primenjuju se finije separacione metode (D. Radusinović i N. Mihailović-Vlajić, 1962). Materijal se prvo seje kroz sita raznih veličina da bi se dobila što ujednačenija veličina zrna. Zatim se u vezi sa osobinama mineralnih asocijacija upotrebljava: a) fino separisanje teškim tečnostima (putem razblaživanja postojećih teških tečnosti sa standardnom specifičnom težinom, do potrebne specifične težine); b) fino separisanje elektromagnetom (iznalaženjem određenog režima putem kombinovanja stepena nagiba horizontalnih i vertikalnih osa sa veličinom amperaže); c) dielektrična separacija (za razdvajanje nemetaličnih minerala jednih od drugih); d) elektrohemijska separacija (za razdvajanje metaličnih od nemetaličnih minerala); e) ručno prečišćavanje koncentrata pod binokularnom lupom.

Metode ispitivanja. — Grubo frakcionisani materijal (teškim tečnostima i elektromagnetom) ispituje se optičkim putem (pod binokularnom lupom i mikroskopom za propuštenu i odbijenu svetlost).

Ispitivanje se odvija u tri pravca: 1) utvrđivanje tačnog mineralnog sastava; 2) utvrđivanje kvantitativnih odnosa minerala; 3) utvrđivanje fizičkih osobina minerala.

1) Za utvrđivanje tačnog mineralnog sastava, pored optičkih metoda ispitivanja, kod komplikovanijih slučajeva za identifikaciju minerala kao pomoćne metode služe rendgenska i spektrohemijska analiza. U slučaju minimalnih količina materijala kao pomoćna metoda može poslužiti i mikrohemijska analiza za utvrđivanje glavnog elementa u mineralu.

2) Utvrđivanje kvantitativnih odnosa minerala može se vršiti na dva načina.

a) vizuelnim putem, pri čemu se određuje relativna zastupljenost minerala, a što je često u zavisnosti od subjektivnog merila svakog pojedinog istraživača i naročito je nepogodno za određivanje količina minerala koji nisu u steni dominirajući. Ovakvo određivanje može uglavnom poslužiti kod fundamentalnih istraživanja,

b) na osnovu težinskih procenata, pri čemu se u gramovima izražavaju količine svakog pojedinog minerala. Ovaj način određivanja je jedino pogodan za detaljna ispitivanja oblasti (naravno uz uslov da probe budu ujednačenih težina), jer jedino ovakav način određivanja omo-

gućava posmatranje kretanja akcesornih minerala u svim magmatskim i postmagmatskim procesima.

3) Utvrđivanje fizičkih osobina minerala je najsloženiji deo posla pri ovim analizama. Pored sjaja i boje, kao i veličine zrna minerala, detaljno se posmatraju forme minerala i inkluzije u njemu. Pri utvrđivanju forme minerala posmatra se da li je on razvijen u kristalima ili u ksenomorfnim zrnima ili na oba načina. Ukoliko se mineral javlja u kristalima, utvrđuje se osnovni oblik kristala i najzastupljenija kombinacija kristalnih pljosni. Utvrđuje se razmera kristala, tj. prosečni odnos dužine prema širini kristala. Takođe se posmatra pravilnost razvoja kristala i očuvanost njegovih ivica, tj. da li je mineral bio izložen koroziji ili ne.

Pri posmatranju inkluzija utvrđuje se vrsta inkluzije, njihova zastupljenost i raspored u kristalu. Pri posmatranju boje mineralnih zrna naročita pažnja se obraća na intenzitet boje i način rasprostranjenja boje po mineralnom zrnu, tj. da li je mineral ravnomerno ili neravnomerno obojen.

Po završetku svih vrsta ispitivanja na primercima iz jedne oblasti ovi rezultati se sumiraju obično prvo po vrstama stene, a zatim za ceo intruziv u celini.

PRAKTIČNA PRIMENA DOBIJENIH REZULTATA

Ispitivanje akcesornih minerala može se praktično primeniti uglavnom dvojako: 1) pri fundamentalnim ispitivanjima masiva i 2) pri detaljnom ispitivanju masiva.

1) Pri fundamentalnim ispitivanjima masiva uglavnom se uzimaju u obzir konstatovani dominirajući akcesorni minerali u jednom masivu. A. I. Rabinovič 1955. je predložio da se pored petrografske karakteristike masiva (na primer biotit-granit) stavi i akcesorna karakteristika masiva, na osnovu dominirajućeg ili dominirajućih akcesornih minerala (recimo biotit-granit-cirkonskog tipa ili sfensko–apatitskog tipa itd). Ovo je predloženo zato što se zapazilo da se intruzivi istih ili sličnih petrografskih karakteristika često razlikuju po kvantitativnom sadržaju akcesornih minerala. Isti autor navodi da se ovakve karakterizacije na osnovu akcesornih minerala mogu upotrebiti i za ocenu povezanosti ležišta pojedinih metala za određeni akcesorni tip granita. Tako, na primer, ovaj autor smatra da se kod cirkonskog tipa granita mogu očekivati ležišta retkih elemenata, kalaja i olova; kod sfenskog tipa — molibden; kod apatit-topaz-fluoritskog tipa — volfram, kalaj itd. Više istraživača su detaljnim ispitivanjem oblasti potvrdili ove teorije. U našoj zemlji takođe smo, za sada samo u dve lokalnosti, bili u mogućnosti da potvrdimo ove teorije: granitski masiv Surdulice, koji pripada izrazito sfenskom akcesornom tipu granita, nosi sa sobom molibden. U oblasti Aldinca na Staroj planini, gde je sfen jedan od dominirajućih minerala u granitu, zapažena je pojava molibdena.

2. Pri detaljnom ispitivanju oblasti ispitivanje akcesornih minerala ima poseban značaj, zbog raznovrsne primene. Ova ispitivanja su naročito korisna u slučajevima kad klasične metode imaju ograničene mogućnosti. Ispitivanje akcesornih minerala često je pri tome kombinovano sa ispitivanjem mikroelemenata (V. V. Ljahovič, 1957, 1960, 1961. godina). Praktična primena ovih ispitivanja se grubo može podeliti na: a) korelativno ispitivanje i b) ispitivanje asimilacije.

a) Korelacija stena na osnovu akcesornih minerala može se vršiti u smislu utvrđivanja komagmatičnosti ili utvrđivanja veza žičnih ekvivalenata sa intruzivom.

Korelacija se vrši na osnovu kvalitativne i kvantitativne zastupljenosti i fizičkih osobina akcesornih minerala. Korelacija se bazira na ustanovljenoj zakonitosti da se karakteristike akcesornih minerala nasleđuju u svim ekvivalentima jednog intruziva. Takođe je zapaženo smanjivanje ukupne količine akcesornih minerala od starijih ekvivalenata ka mlađima, pri čemu kvantitativni odnosi i fizičke osobine akcesornih minerala ostaju isti.

Utvrđivanje komagmatičnosti je naročito značajno kod slučajeva gde je usled asimilacije došlo do izmene petrografskih karakteristika, naročito kad su istofazni intruzivi zalegali u sredinama različitog hemijskog sastava, usled čega je svaki intruziv dobio svoju posebnu petrografsku karakteristiku. Kod ovakvih slučajeva presudnu ulogu igraju ispitivanja fizičkih osobina minerala, kao i karakteristični mikroelementi. V. V. Ljahovič (1961) je u oblasti Tirni Auza izvršio prviput ovakvu korelaciju. Naime, važno je bilo ustanoviti da li je leukokratni granit (za koji su vezane ekonomski značajne pojave Mo i W) genetski vezan za starije ili mlađe granite u ovoj oblasti. Korelacijom ovih stena na osnovu akcesornih minerala autor je ustanovio da su navedeni leukokratni graniti genetski vezani za mlađe biotit-granite. I leukokratni graniti, kao i mlađi graniti, zaležu u krečnjacima. Autor je ustanovio da je kod mlađih granita na kontaktu sa krečnjacima, usled pojave asimilacije, došlo do pojave većih količina minerala, kao što su apatit, fluorit, alanit i sfen, a i do povećanog sadržaja epidota i granata. Takođe je ustanovljena pojava diopsida i povećan sadržaj bazičnog plagioklasa. Identični minerali u povećanom sadržaju zapaženi su i u leukokratnim granitima. U obe stene je zapažen i identičan sadržaj uraninita i monacita, kao i identične kristalne forme cirkona, a nasuprot tome stariji granit u ovoj oblasti ima sasvim drukčije forme cirkona. Za utvrđivanje komagmatičnosti leukokratnih granita sa mlađim biotit-granitom, autor se poslužio i mikroelementima. Naime, korelacijom sadržaja Hf u cirkonima ustanovio je bliskost sadržaja Hf u cirkonima obe stene, dok je u starijim granitima njegov sadržaj znatno veći. Takođe

je ustanovio i bliskost sadržaja Sr u apatitima, sfenu, granatu i epidotu obe stene. Na osnovu svih navedenih podataka autor je konstatovao genetsku vezu leukokratnih granita sa mlađim granitima u ovoj oblasti.

V. V. Ljahovič je primenio korelaciju pomoću akcesornih minerala i na utvrđivanje genetske veze žičnih ekvivalenata sa intruzivom u oblasti sa višefaznim intrudovanjem (u oblasti Zap. Tuvi). Ovde je autor ustanovio zakonitost nasleđivanja akcesornih minerala u različitim ekvivalentima jednog intruziva.

Zakonitost nasleđivanja akcesornih minerala i njihovih osobina zapazili smo i prilikom ispitivanja akcesornih minerala u granitoidnim masivima kod nas.

Tako, na primer, na Bukulji (podatak C. Markov, mineralog ZNS) jasno se na samom terenu vidi genetska veza pegmatita sa granitima a to se vidi i kroz akcesorne minerale. Obe stene sadrže bezbojan cirkon veličine oko 0,1 mm i crveni granat u oblicima rombdodekaedra. Monacit, ksenotim, torit i šelit karakterišu obe stene kako svojim prisustvom tako i minimalnim količinama. Obe stene takođe karakterišu identične količine turmalina, sfena, anatasa i rutila.

— Na Staroj planini može se ustanoviti genetska veza mikrogranita Aldinca sa granitoidnim masivom SZ dela. Obe stene sadrže epidot i sfen u povećanim količinama; povećanu količinu apatita u odnosu na cirkon; neznatnu količinu monacita, identičnu količinu granata, ksenotima i turmalina. Obe stene karakteriše pojava molibdenita u akcesornom delu. Na ružičastim kristalima cirkona preovlađuje ista kombinacija pljosni — (100), (111), sa čestim prisustvom (110) i (311).

b) Ispitivanje procesa asimilacije pomoću ispitivanja akcesornih minerala, vrši se u pravcu ispitivanja zastupljenosti pojedinih minerala, njihovih kvantitativnih odnosa, a često se asimilacioni procesi mogu ustanoviti i na osnovu fizičkih osobina pojedinih akcesornih minerala.

Poznato je već iz klasične literature, da hemizam okolnih stena koje su asimilovane od strane granitske magme diktira i novostvorene mineralne asocijacije u prikontaktnim ili apikalnim delovima granitskih intruzija*. Tako, na primer, prilikom asimilacije peskovito-glinovitih sedimenata, u granitu se pojavljuju takvi minerali kao što su andaluzit, apatit itd. (povećan sadržaj anadaluzita — do preko 1% i Mn apatita u istim količinama zapazili smo u obodnom delu granitskog masiva Moslovačke gore, dok u centralnom delu ovog masiva navedeni minerali nisu zapaženi). Prilikom asimilacije stena bogatih Ca, Mg i Fe dolazi do povećanog sadržaja sfena, epidota, magnetita, nekad pirita itd. (tipičan primer za asimilaciju stena bogatih Ca, Mg i Fe u našim lokalnostima mogu biti granitoidne stene na Staroj planini u ist. Srbiji, gde je usled asimilacije došlo do povećanja sadržaja epidota do 4%, sfena do 3% kao i pirita. Povećanje sadržaja ovih minerala se naročito uočava u perifernim delovima masiva, dok se njihov sadržaj smanjuje u centralnim delovima masiva).

Pri svim procesima asimilacije, obično u izrazito kontaminiranim delovima, u granitu dolazi do iščezavanja minerala retkih zemalja, a jedini izuzetak čini cirkon, čije se količine često povećavaju.

Kao što nam na asimilaciju mogu ukazati i neuobičajene količine pojedinih minerala u granitu, tako nam na nju mogu ukazati i fizičke osobine pojedinih akcesornih minerala. Tako se često u kontaminiranim delovima u granitu mogu zapaziti cirkoni u bipiramidalnim formama sa potpunim odsustvom pljosni prizme. Za apatit i cirkon su takođe karakteristične i vretenaste, izometrične forme i iskrivljeni i povijeni kristali. Sfen i epidot, koji su u granitu nastali kao produkti asimilacije, često se javljaju u ksenomorfnim zrnima itd.

Ispitivanje kvantitativnih odnosa akcesornih minerala ima značaj naročito u pogledu ispitivanja pojedinih oblasti na rudonosnost. Tako je, na primer, poznato da bogatstvo jednog granitskog masiva u mineralima bogatim Ca, Mg i Fe (a koji su nastali kao produkat asimilacije), isključuje mogućnost stvaranja ležišta, retkih elemenata, Sn, W itd. u dotičnom masivu. Ova se pojava objašnjava izomorfnim ulaženjem navedenih elemenata u rešetke minerala nastalih asimilacijom, usled čega dolazi do raspršavanja ovih elemenata, a što onemogućava stvaranja rudišta navedenih metala (u SSSR-u je ustanovljena zakonitost da se kod granitoidnih masiva, kod kojih se javlja povećani sadržaj sfena, isključuje mogućnost nalaska ležišta kalaja).

*) Endomorfizam

LITERATURA

1. Grigorjev D. P., 1961: Ontogenija mineralov. Izd. Ljovskog universiteta.
2. Evzikova N. Z., 1958: K Voprosu ob izmenjenjii formi kristalov minjeralov v procese ih rosta. Zapis. Vses. miner. obšćestva v. 6, izd. AN SSSR Moskva.
3. Koržinskii D. S., 1962: Problemi fiziko-himičeskoi teorii petrologičeskih procesov. Izv. AN SSSR, ser. geol. br. 1.
4. Ljahovič V. V., 1957: Izučenjije mikroelementov i akcesornih mineralov v sovremenoj petrografii. Trudi inst. min. geoh. kristaloh ret. elementov, vp 1, Moskva.
5. Ljahovič V. V. i dr., 1959: Akcesornie minerali v granitoidah Gornovo Altaja. Trudi inst. min. geoh. i kristaloh. ret. elementov, vp 1, Moskva.
6. Ljahovič V. V. i dr., 1960: O haraktere raspredeljenija akcesornih mineralov granitnih masivah. Trudi inst. min. geoh. i kristaloh. ret. elementov, vp 4, Moskva.
7. Ljahovič V. V. i dr., 1960: O vlijanjiji procesov asimilacii na rasprostranjenie akcesornih mineralov. Izv. AN SSSR, ser. geol. br. 5, Moskva.
8. Ljahovič V. V. i dr., 1961: Akcesornije minerali granitnih intruzii zapadnoi Tuvi i svjazanih s njimi

žilnih porod. Trudi inst. min. geoh. i kristaloh. ret. elementov, vp. 7, Moskva.
9. Ljahovič V. V. i dr., 1961: Akcesornie minerali v granitoidah Tirni Auza i ih petrogenetičeskog značenie Trudi inst. min. geoh. i kristaloh. ret. elementov, vp 7, Moskva.
10. Nadeždina E. D., 1961: Akcesornie minerali trapov raiona nižnevo tečenjija reki Potkamenoj Tungusk. Izd. AN SSSR, Moskva.
11. Rabinovič A. D., 1955: O metodah mineralogo-geohimičeskih isledovanjii intruzivnih porod. Trudi Vses. min. — petr. laboratorii, Moskva.
12. Radusinović D,. Mihajlović-Vlajić N., 1962: Postupci za dobijanje koncentrata za mineraloška ispitivanja. Referat na Jug.—italijanskom simpozijumu, Rim.
13. Rub M. G., 1957: Vlijanjie vmešćajušćih sredi na formirovanjie intruzivnih porod i postmagmatičeskih obrazovanji v Prihankaiskom raione. Izv. AN SSSR, ser. geol. br. 3, Moskva.
14. Rub M. G. i dr., 1961: Petrohimičeskie kriterii svjazi orudnjenia s granitoidom (na primere Mjaočaiskovo raiona) Izv. AN SSSR, ser. geol. br. 9, Moskva.
15. Mihailović-Vlajić N., 1959: O mineraloškom ispitivanju radioaktivnih minerala u oblasti Crnog Kamena kod Prilepa. Fond stručne dokumentacije Zavoda za nuklearne sirovine, Beograd.

SUMMARY

ON THE INVESTIGATIONS OF ACCESSORY MINERALS

NADEŽDA MIHAILOVIĆ-VLAJIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

The investigation of accessory minerals and the application of this study in different geologic problems has started only recently. Due to the increasing importance of these researches in manu practical problems, there is an intensive development of the methods and their applications. The particular applications of these method is found in the study of the granitic rocks and at the pressent these investigations could be applied successfully in the following proplems:

a) in the correlation, particulary of the chronologicaly close-spaced successive phasses, in wich the standard methods of age determination could not be applied due to the short time-span

b) the study of the interconnection between the veins and the intrusive bodies or particular phases of the intrusives

c) the analysis of the potential possibility of the mineralization of the various metals in a given area

The study of accessory minerals is done on the material prepaired by the milling and fractional separation of samples of the granitic rocks. The practical application could be obtained by the analysis of the rezult of a large number of samples; the following data are necassary for such an analysis: a) Qualitative analysis (all accessory minerals presented in a sample should be indentified); b) Quantitative analisis (the weight percentage of the identified minerals); Physical properties of the accessory minerals (color, luster and form of the minerals. In the case of the crystal form, it is very important to determine the most dominant form in different samples). The combined results of all samples of a given locality are used for a final interpretation. In some cases the very usefull data could be obtained by the study of distribution of the elements in the traces which are analyzed spectroscopicaly on the pure concetraces of accessory minerals.

The study of the accessory minerals in the laboratories of the Institute for Research of Nuclear Raw Materials started in 1960 as a part of a basic research program of the Yugoslav granitic rocks.

Zavod za nuklearne sirovine, Beograd

PETROLOGIJA UGLJA ŠIRITOVCA KOD DRNIŠA (DALMACIJA)

U toku prospekcije rudnika uglja Jugoslavije na uran autor ovog rada je istovremeno radio na petrografskim i mineraloškim ispitivanjima prospektovanih ugljeva.

U radu se daje petrografski sastav jednog od tih ugljeva. Pored toga izvršena je odredba mineralnih materija koje se javljaju u uglju. Na osnovu petrografskog sastava autor je izdvojio dva tipa uglja, čije su razlike očigledne, kako makroskopske tako i mikroskopske.

Petrografski sastav uglja Širitovca do sada nije bio poznat. Postoje radovi o geološkom sastavu šire okoline Širitovca. Tako R. Schubert [1] daje geološki sastav šire okoline Siverića ne pominjući Širitovce.

Zlata Radošević [3] daje istorijat razvoja rudarskih radova u Dalmaciji na ugljevima. Ona navodi da je ugalj Širitovca po izvesnim autorima eocenske starosti.

Antun Takšić i Dragan Jovanović [2] daju iscrpne podatke o širitovačkoj sinklinali. Po njima se ova sinklinala pruža od Krke do Čikole na potezu Bogatić — Širitovci i iznosi 11,5 km. Oni navode da je širina sinklinale varijabilna i iznosi 600 do 800 m. Pad i pružanje slojeva na severnom i južnom krilu sinklinale, po ovim autorima je relativno pravilan. Po njima se ugalj u sinklinali javlja u sočivima.

Ivan Crnolatac i Ljubomir Tomić [4] daju geološki sastav šire okoline Širitovca.

ELEMENTARNA ANALIZA UGLJA

C %	49,85 %
H %	4,00 %

Na osnovu sadržaja vodonika ugalj Širitovca pripada humitskim ugljevima, što je i mikroskopska analiza pokazala.

SPEKTROHEMIJSKA ANALIZA UGLJA

Materijal je ispitivan u oblasti 2.800 do 4.500 Å.

Glavni elementi: Mg, Al, Si, Fe — verovatno iznad 0,1 %.

Ca	ispod 1.000 ppm
Mn	tragovi
Ti	50 ppm
V	oko 1.000 ppm
Cu	100 ppm
Cr	23 ppm
Ba	420 ppm
Sr	23 ppm

Tragovi elemenata koji su konstatovani spektrohemijskom analizom ne razlikuju se bitno od elemenata koje sadrže drugi ugljevi u našim i stranim ležištima. Svi su ovi elementi karakteristični za ugljeve i javljaju se u njima.

MAKROSKOPSKI I MIKROSKOPSKI SASTAV UGLJA

Opšta makroskopska karakteristika. — Makroskopski posmatran ugalj na prvi pogled odaje utisak jednorodnog sastava. Čini se da je ugalj sastavljen od jednog strukturnog sastojka. Međutim, posmatrajući ga pažljivije mogu se u njemu zapaziti proslojci različite debljine, sjaja i preloma. U uglju u znatnim količinama dominira jedan strukturni sastojak u kome se, u proslojcima i sočivima, javljaju i drugi sastojci uglja. Posmatran u celini ugalj je crne boje, smolastog sjaja, a sasvim netko mat izgleda. On je kompaktan sa vertikalno-pločastom deljivošću i neravnim, retko školjkastim prelomom. Boja ogreba na porcelanskoj pločici je mrko-siva do crna.

Mikroskopski sastav uglja. — Na osnovu mikroskopskog ispitivanja možemo zaključiti da je ugalj sastavljen iz više mikrolitotipova. Tako su u uglju prisutni sledeći litotipovi: klaren, duren, vitren i fuzen.

Klaren. — Klaren je najzastupljeniji sastojak uglja Širitovca. Javlja se u masama, a kada su prisutni duren i vitren onda u debelim proslojcima. Osnovna klarenova masa je vitrinitska, mada se često u njemu sreću sočiva zrnastog i masivnog mikrinita. Zbog geleficirane vitrinitske osnovne mase on je prilikom dijageneze ispucao, a pukotine su različite veličine i pravca. Često su pukotine ispunjene mineralnim materijama, gotovo uvek glinovitom i karbonatnom materijom. U njemu se uvek javljaju nagomilanja sklerocija, kutikula i smolnih telašaca. Mikrostrukturni sastojci su često orijentisani u jednom pravcu, tako da klarenu daje slojevit izgled.

Duren. — Javlja se u tankim proslojcima, a često i u većim sočivima, i na taj način, u zajednici sa klarenom i vitrenom, čini poseban tip uglja koga možemo nazvati klareno-vitrenov ugalj sa durenom. U svakom slučaju njegovi proslojci se uvek mogu lepo odvojiti od ostalih strutkurnih sastojaka i moguće je povući tačnu granicu među njima. Njegovi tanki proslojci su često velike dužine, mada se isto tako često isklinjavaju i nestaju da bi se u istom pravcu ponovo pojavili. Ovo nam ukazuje na taloženje istog materijala u celom tresetištu i na iste uslove humifikacije, ali sa mestimičnim promenama tih uslova. U njegovoj osnovnoj masi preovlađuje mikrinit, koji može biti zrnastog ili masivnog habitusa. Gelificirana vitrinitska osnovna masa je takođe sastavni deo durena, ali u daleko manjoj meri od mikrinita. On sadrži iste mikrosastojke kao i klaren, samo što su oni u njemu obilnije zastupljeni.

Vitren. — Pojave vitrena su vrlo česte i to u vidu tankih proslojaka i sočiva nepravilnog oblika. Njegove proslojke, isto kao i durenove, možemo lepo ograničiti i odvojiti. Vitren je u uglju Širitovca zastupljen u dva oblika:

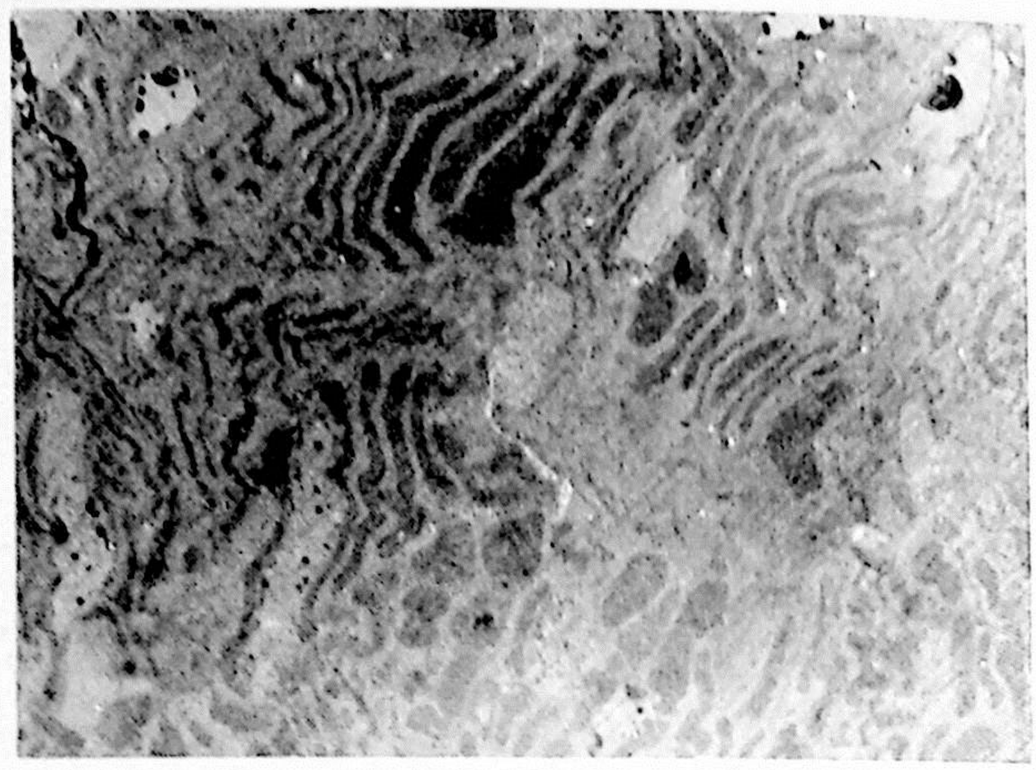
1) kolinit — gelificirana bestrukturna ugljena materija,

2) telinit — strukturni vitren.

Od ova dva tipa vitrena drugi je mnogo češći. Kolinit retko gradi proslojke i najčešće se javlja u sočivima nepravilnog oblika. To je bestrukturna gelozna ugljena materija u kojoj se ne vide nikakvi mikro-sastojci. Gotovo uvek sadrži mikroprsline. Telinit je vrlo čest u proslojcima debljine 3 do 10 mm i u sočivima nepravilnog oblika. Struktura biljne materije je lepo očuvana, a ćelije su na različite načine izdužene, uvijene i uopšte različitog oblika i veličine. Može se reći da je ovo sastojak uglja na kome se najbolje manifestuje tektonika i mikrotektonika. Može se zaključiti da je ugalj Širitovca pretrpeo veliki pritisak različitog pravca. To nam najbolje prikazuje sl. 1, na kojoj vidimo deformisane ćelije biljne materije. Ove deformacije su različite. Čas su to jako izdužene ćelije ili plisirane na različite načine, a čas su one pod pritiskom smanjile zapreminu. Samo na izvesnim mestima ćelije biljne materije su u prvobitnom položaju.

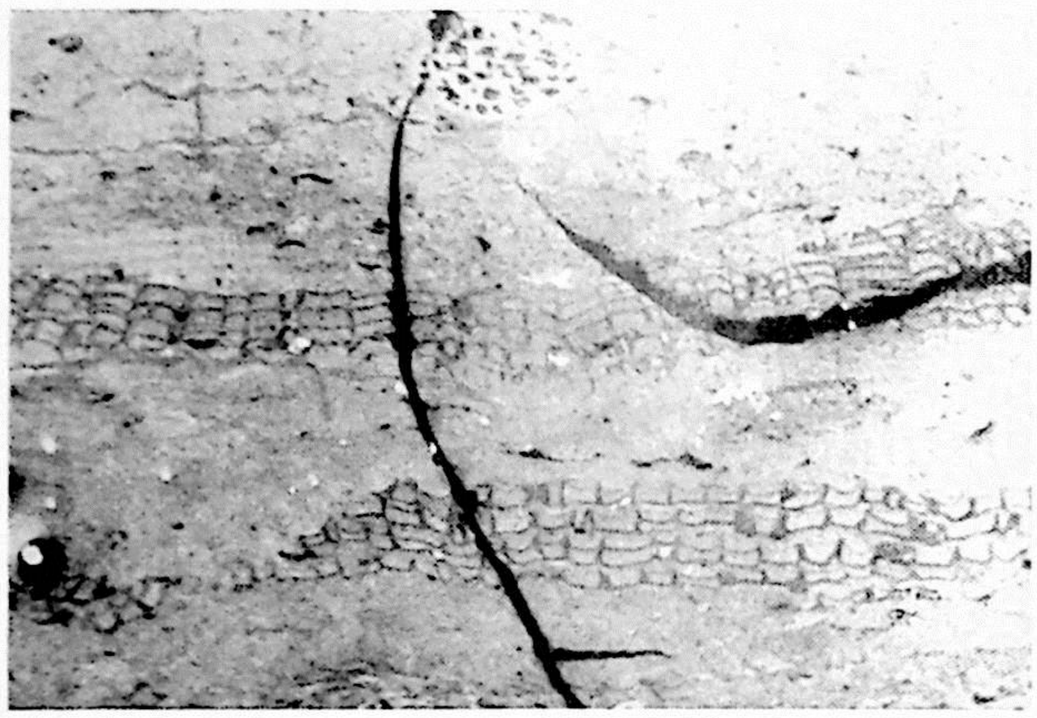
Telinit vrlo često sadrži sklerocije, koje su takođe deformisane pod uticajem pritiska.

Ksilen. — Ksilen je vrlo redak strukturni sastojak uglja. Javlja se samo u nekoliko primeraka. On je predstavljen odlomcima u vidu kore drveta ili u manjim sočivima nepravilnog oblika (sl. 2 i 3). To je gelificirana masa biljne materije u kojoj je struktura drveta lepo očuvana. Karakteristično je da su ćelije biljne materije uvek u prvobitnom položaju i da se na njima ne zapažaju neke deformacije. Ksilen čini prelaz ka vitrenu, pa ga možemo nazvati ksilo-vitrenom. Kao što je naglašeno on je vrlo redak i ne možemo ga izdvo-



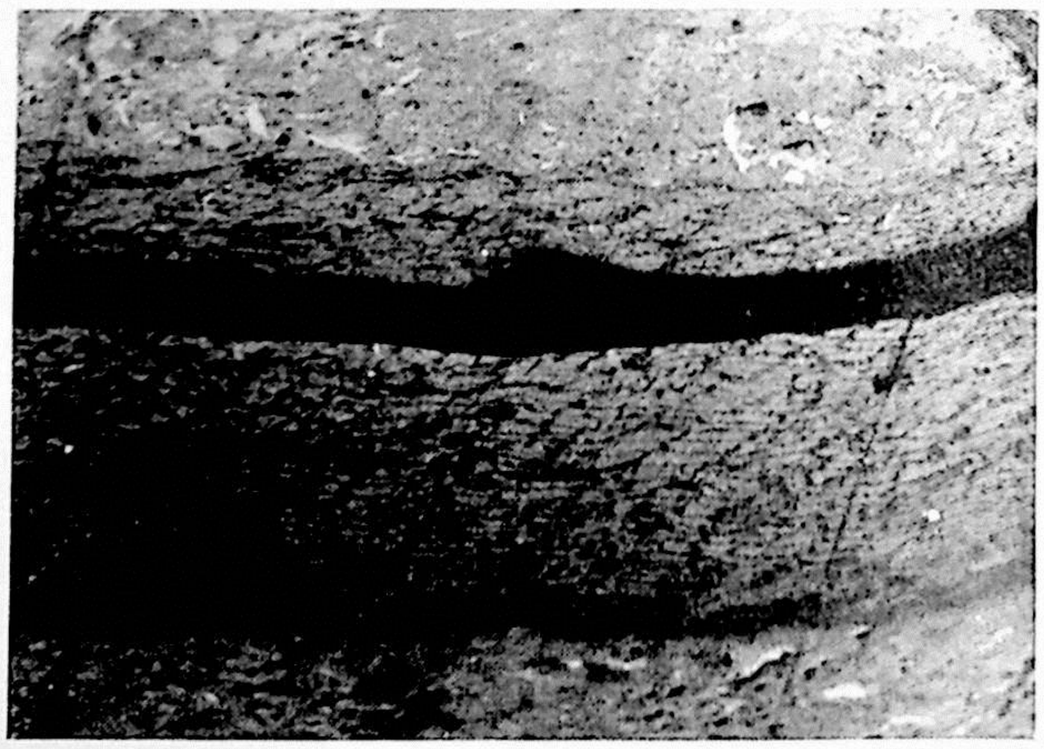
Sl. 1 — Vitren (telinit). Deformisane ćelije biljne materije. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 1 — Vitrit (Telinit). Deformed cells of plant materials. Magn. 200 ×. Oilimmersion



Sl. 2 — Kora drveta. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 2 — The bark of wood. Magn. 200 ×. Oilimmersion

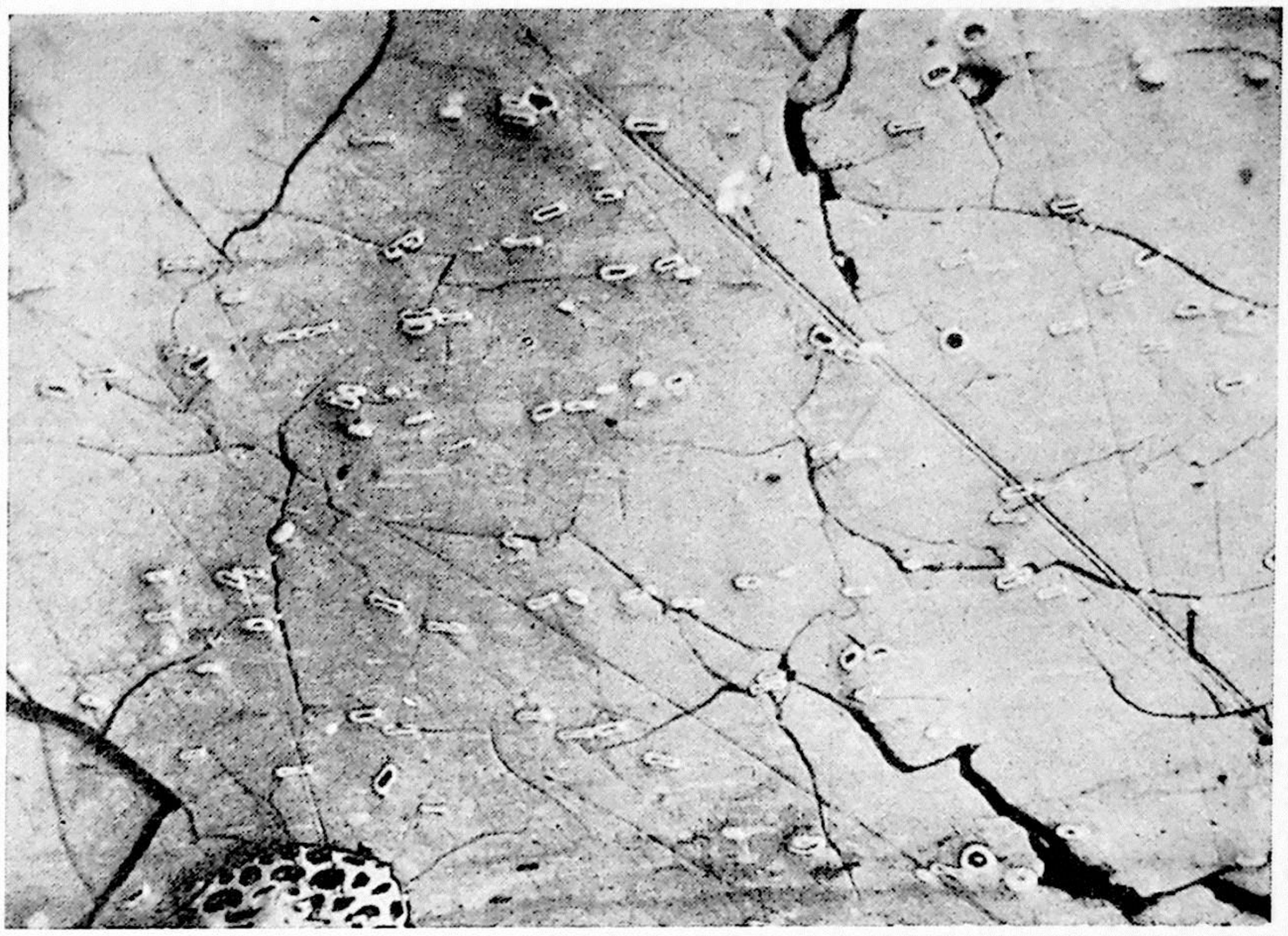


Sl. 3 — Kora drveta sa deformisanim ćelijama. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 3 — The bark with deformed cells. Magn. 200 ×. Oilimmersion

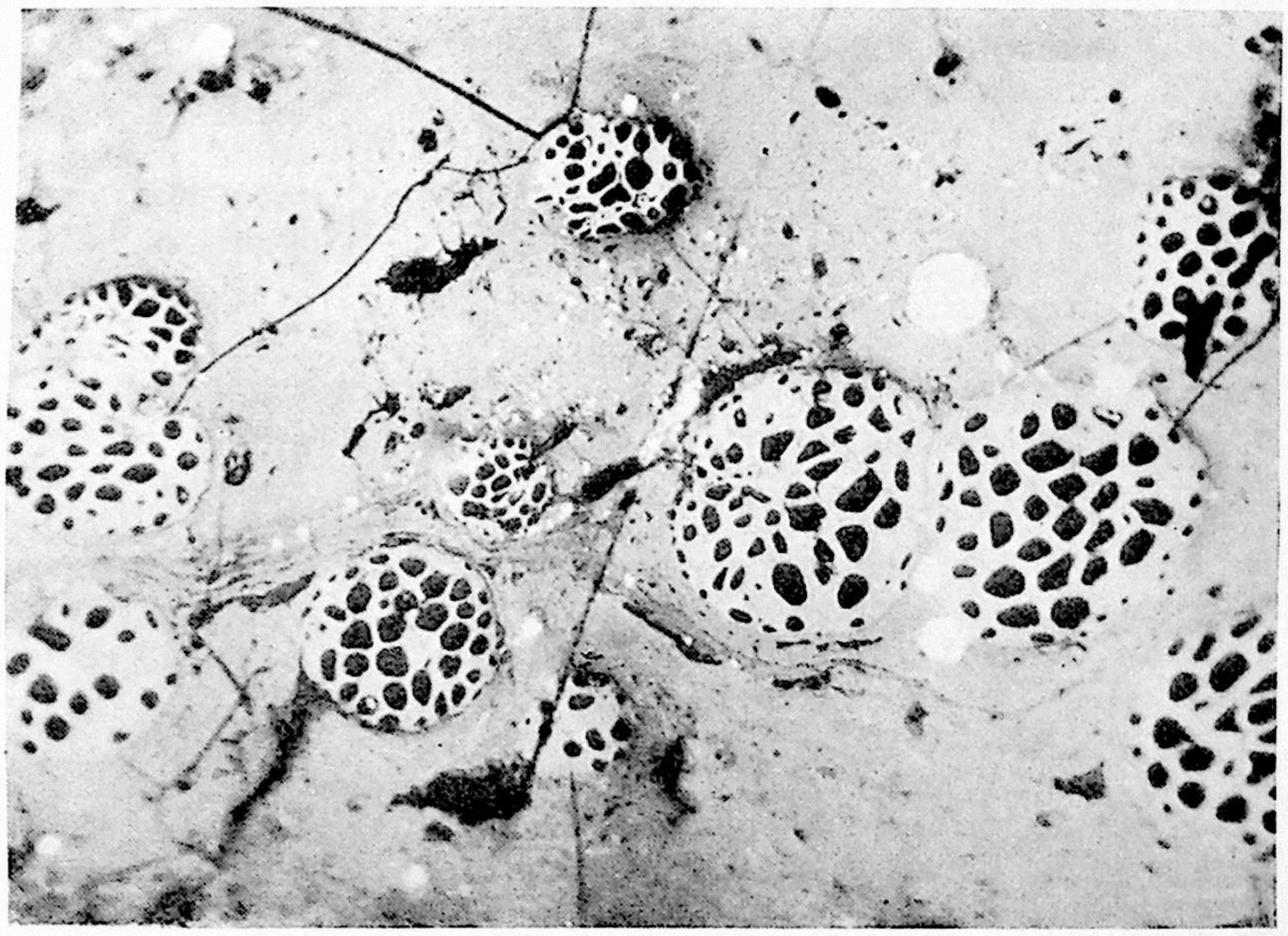
Sl. 4 — Sklerocije u klarenu. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 4 — Scleroties in Clarain. Magn. 200 ×. Oilimmersion



Sl. 5 — Sklerocije u klarenu. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 5 — Scleroties in Clarain. Magn. 200 ×. Oilimmersion



jiti u poseban tip uglja, već ga priključujemo onom tipu u kome se javlja.

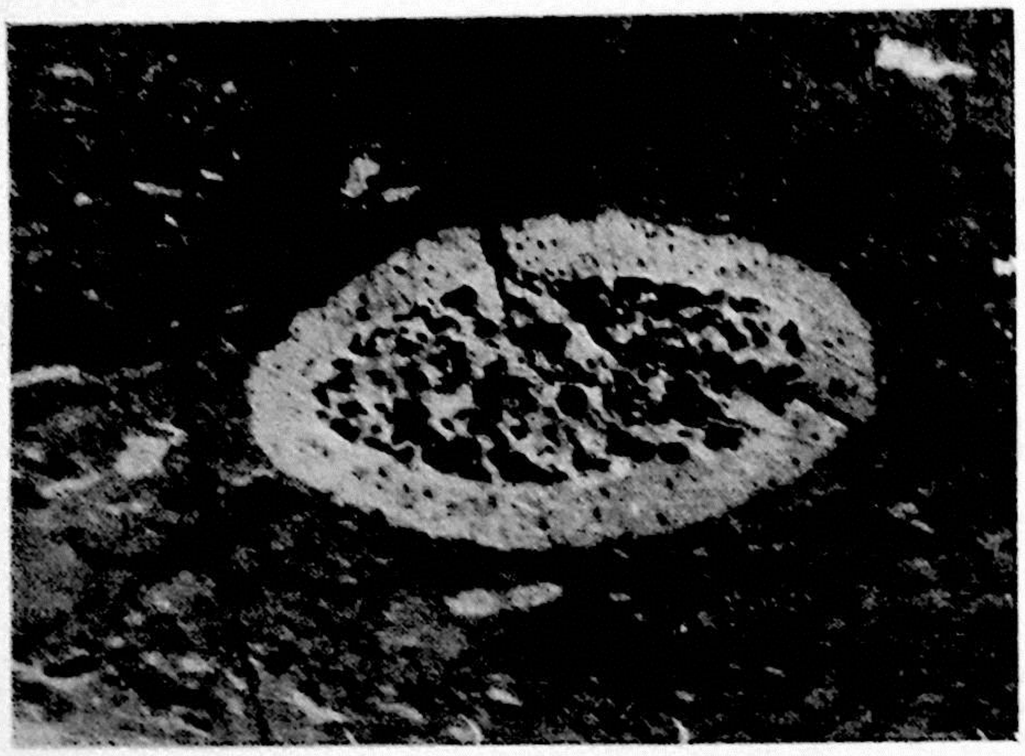
Fuzenizirane materije. — Javljaju se u dva oblika: kao fuzen i semifuzinit, koji čini prelaz ka vitrenu, i mi bismo ga pre nazvali vitreno-fuzenom.

Fuzen. — To su retka manja sočiva i odlomci u klarenu i durenu. Češti je sastojak klareno-vitreno-durenovog tipa uglja, nego čisto klarenovog tipa. Struktura biljne materije je prilično dobro očuvana, mada je često deformisana, kada su mu ćelije polomljene.

Vitreno-fuzen. — On je takođe vrlo redak u uglju. Vitreno-fuzen se u uglju Širitovca može lepo odvojiti od fuzena, jer je i sama struktura biljne materije sasvim drukčija, a količina odbijene svetlosti je, u odnosu na fuzen, mnogo manja. Zato je i vitreno-fuzen siv u odbijenoj svetlosti, dok je fuzen svetlosiv.

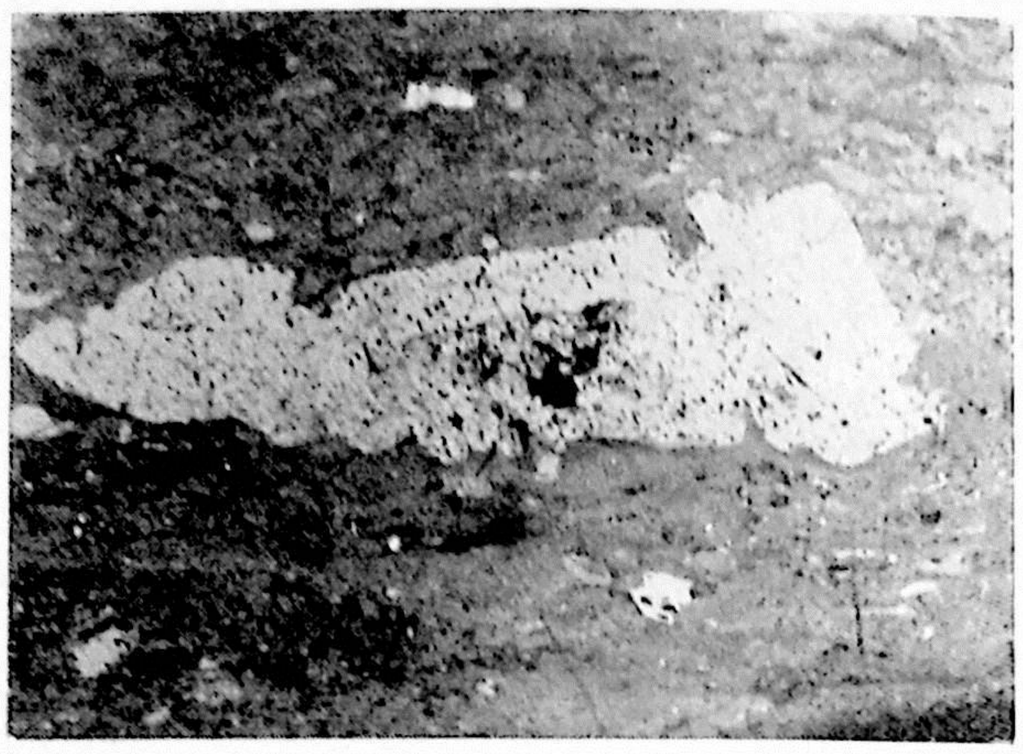
Kutinizirani elementi i rezinitna materija. — Pod imenom kutiniziranih elemenata obuhvatili smo mikrostrukturne sastojke uglja, kao što su: mikrospore, kutikule i smolna telašca. Blizak hemijski sastav ovih elemenata daje nam za pravo da ih tako nazovemo. Rezinitna materija je prisutna u vidu smolnih telašaca.

Mikrospore. — Javljaju se kako u klarenovom tako i u klareno-vitreno-durenovom tipu uglja. Njihov oblik i veličina su prilično varijabilni. Na njima se mogu zapaziti uticaji pritiska, tako da su one često polomljene, skoro uvek spljoštene i razvučene u eliptične oblike. Retko grade kon-



Sl. 6 — Sklerocija u klarenu. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 6 — Scleroties in Clarain. Magn. 200 ×. Oilimmersion



Sl. 7 — Sklerotinit u klarenu. Uvećanje 200 ×. Ulje

Fig. 7 — Sclerotinite in Clarain. Magn. 200 ×. Oilimmersion

centracije u izvesnim delovima uglja, gde mogu biti orijentisane u jednom pravcu ili rasute po ugljenoj materiji.

Makrospore nisu zapažene.

Sklerocije. — Ostaci gljiva su čest sastojak uglja. Kada se jave one su onda skoncentrisane na izvesnim mestima i grade nagomilanja (sl. 4 i 5). Retko su pojedinačno rasturene po osnovnoj masi ugljene materije (sl. 6). Javljaju se kako u klarenovom tako i u klareno-vitreno-durenovom tipu uglja. Često su prisutne i u samom vitrenu. Javlja se najčešće jedna vrsta sklerocija, koja je u literaturi poznata pod imenom Sclerotites Brandonianus. Obično su okrugle, a retko eliptičnog oblika. Sastavljene su od mnoštva ćelija, čija je unutrašnjost prazna.

Često su u uglju prisutna sočiva nepravilnog oblika sa ćeličnom građom u kojoj ne razlikujemo uobličene delove sklerocija, no ipak, na osnovu strukturne građe, kao i količine odbijene svetlosti može se zaključiti da ova sočiva pripadaju ostacima gljiva koje smo u zajednici sa gornjom vrstom sklerocija obuhvatili pod imenom sklerotinita (sl. 7).

Kutikule. — Kutikule su krajnje redak mikrostrukturni sastojak uglja Širitovca. One teže da se stope sa osnovnom masom ugljene materije, tako da ih je teško i u imerzionoj sredini primetiti. One su prilično deformisane i polomljene.

Smolna telašca. — Ne može se reći da ugalj Širitovca obiluje smolnim telašcima. Ona su se procesom ugljenizacije biljne materije prilično stopila sa ugljenom materijom, tako da ih je na izvesnim mestima teško od nje odvojiti. Međutim, izvesni delovi uglja sadrže ih često u većim skupinama, a još češće ona su u pojedinačnim oblicima rasuta po celoj masi uglja. Gotovo uvek se javljaju u eliptičnim oblicima. Njihove pojave su naročito vezane za vitren, mada njihovo prisustvo u durenu i klarenu ne treba zanemarivati.

MINERALNE MATERIJE U UGLJU

Mineralne materije u uglju Širitovca su vrlo retke. Javljaju se u žilicama i sočivima, zatim u odlomcima kristala, zrnima nepravilnog oblika i savršenim kristalnim formama. Mikroskopskim ispitivanjima određeni su sledeći minerali:

Kalcit. — Prisutan je u svim ispitivanim primercima. Ispunjava pukotine i prslinice u uglju. Gotovo uvek je nepravilnog oblika, a kristali su mu vrlo retki. Boje je ređe mlečno-bele, a često žute i mrke zbog prisustva ugljene materije.

Gips. — Gips je takođe čest sastojak uglja. Uvek se javlja u savršenim pločastim ili igličastim kristalima. Često se javlja u kristalnim druzama. Najčešće je bistar i providan, retko žut, mrkožut, kada mu boja verovatno dolazi od ugljene materije.

Kvarc. — Može se reći da je kvarc vrlo redak mineralni sastojak u uglju. On se javlja u zrnima nepravilnog oblika. Može biti bistar, beo, a nekada i žut.

Feldspati. — Javljaju se u zrnima nepravilnog oblika. Skoro uvek su mutni. Zapaženi su ortoklas i mikroklin.

Glinovita materija. — Prisutna je često u manjim sočivima ili vrlo sitnim zrnima, dispergovanim po osnovnoj ugljenoj materiji. Prava priroda glinovite materije nije mogla biti određena, jer ju je nemoguće odvojiti od ugljene materije.

Treba naglasiti da je svaki ispitivani primerak sadržao ljušturice puževa i školjaka, kao i odlomke stena, koje su predstavljene krečnjacima i laporcima. Od metaličnih minerala zastupljen je samo pirit, koji se javlja u sitnim zrnima, a često i u konkrecijama. Vrlo retko se zapažaju preseci kocke, oktaedra i pentagondodekaedra.

TIPOVI UGLJA

Na osnovu makroskopskog posmatranja i detaljne mikroskopske analize bili smo u stanju da u uglju Širitovca odvojimo dva tipa uglja. Pod raznim tipovima uglja podrazumevamo takve vrste ugljeva, koji se karakterišu posebnim osobinama, kako makroskopskim tako i mikroskopskim. Uzimajući u obzir da je stvaranje jednog tipa uglja vezano za uslove taloženja i vrstu biljne materije, uslove humifikacije (visina nivoa vodenog pokrivača, a s tim u vezi i dejstvo humifikatora različite vrste i porekla) i dužinu procesa ugljenizacije, a ako tome još dodamo različite osobine današnjeg uglja, mi ih sa pravom možemo odvojiti u različite tipove.

Na osnovu ovih ispitivanja možemo ih podeliti u dva tipa:

I tip — klarenov ugalj sa gelificiranom vitrinitskom osnovnom masom, i

II tip — klareno-vitrenov ugalj sa durenom (pomešani klaren).

I tip — Klarenov ugalj sa gelificiranom vitrinitskom osnovnom masom

Makroskopska karakteristika. — Posmatran makroskopski ovaj tip uglja karakteriše se jednorodnom strukturom u kojoj se ne zapažaju strukturni sastojci. Kompaktan je, neravnog i oštrog preloma. Sadrži mnogobrojne pukotine i duž njih na vazduhu puca i raspada se u sitnije komadiće. Polusjajan je.

Mikroskopska karakteristika. — Izgrađen je od jednorodne osnovne mase, sastavljene od gelificirane vitrinitske materije. U toj materiji često su uklopljeni sastojci, kao: sklerocije, kutikule i smolna telašca. Orijentacija spora često mu daje slojeviti izgled. Spore sklerocija su najčešći sastojak, pa ga možemo nazvati *sporinim klarenom*. Na izvesnim mestima sadrži nagomilanja sklerocija. Fuzen je vrlo redak, dok su odlomci ksilovitrena u njemu češći. Smolna telašca su retko prisutna. Od mineralnih materija sadrži pirit, kalcit, zatim gips, kvarc i feldspate.

Normativni sastav mnogobrojnih primeraka ovog tipa uglja, dobiven merenjem na Schand-ovom stočiću, izgleda ovako:

Klaren	93,85 — 100,00 %
Fuzen	1,91 — 3,05 %

II tip — Klareno-vitrenov ugalj sa durenom

Makroskopska karakteristika. — Razlike u makroskopskim osobinama prema prvom tipu su očevidne. Ovaj tip je predstavljen sa tri strukturna sastojka. Makroskopski se oni lepo zapažaju. Dobija se utisak trakastog uglja, koji je izgrađen od proslojaka različitog sjaja i osobina. Boja i sjaj uglja jako variraju. Izvesni proslojci su polusjajni, drugi priličnog sjaja, a treći mat izgleda. Prelom je različit: oštar, neravan i školjkast.

Mikroskopska karakteristika. — Osnovna masa uglja je dvojaka. Često je gelificirana vitrinitska, a često i mikrinitska. Vrlo je čest slučaj da su na jednom mestu zastupljene obe vrste osnovne mase u nejednakim količinama. Sadržaj kutiniziranih elemenata je takođe različit. Dok proslojci vitrena sadrže isključivo sklerocije, dotle klaren i duren sadrže sve ostale sastojke. Neke razlike u pogledu sadržaja mikrosastojaka klarena i durena nisu zapažene. Smolna telašca su vezana za vitren i vrlo su česta. Sklerotinit je vrlo čest, a takođe i fuzenizirani elementi. Fuzen je prisutan po pljosnima slojevitosti. Razlike u sadržaju mineralnih materija u ova dva tipa uglja ne postoje.

Normativni sastav ovog tipa uglja dobijen merenjem na Schand-ovom stočiću izgleda ovako:

Klaren	19,57 — 44,25 %
Vitren	8,22 — 46,52 %
Duren	8,92 — 25,71 %
Fuzen	2,05 — 7,56 %
Ksilen	1,80 — 6,15 %

ZAKLJUČAK

Sa petrološke tačke gledišta ugalj Širitovca možemo podeliti na dva tipa:

I. klarenov ugalj sa gelificiranom vitrinitskom osnovnom masom,

II. klareno-vitrenov ugalj sa durenom.

Ova dva tipa uglja su zastupljena skoro u podjednakim količinama. Razlike među njima, kako makroskopske tako i mikroskopske, su očigledne. Dok je prvi tip jednorodan, dotle je drugi tip trakaste teksture. Sadržaj mikrostrukturnih sastojaka je takođe različit.

Stvaranje uglja i taloženje biljne materije odvijali su se u tresetištu, čiji je nivo vode bio prilično stabilan. Na to nam ukazuju dabeli proslojci klarena. Prisustvo proslojaka klarena, vitrena i durena odgovara slabijem kolebanju vodenog pokrivača. Stvaranje vitrenskih proslojaka odgovara najvišem nivou vode, koji je opadao idući prema klarenu i durenu. Ugalj Širitovca je postao od biljaka višeg rastinja.

Posmatran u celini, ugalj Širitovca je klaritičan i odličnog kvaliteta i nalazi se na granici između kamenih i mrkih ugljeva.

Mikrotektonika je lepo izražena. Naročito se to jasno zapaža na mikrosastojcima, a najčešće na ćelijama biljne materije u vitrenu.

Taloženje minerala kvarca i feldspata je singenetsko, dok pojave mineralnih materija, kao što su kalcit, gips i glinoviti minerali mogu biti kako singenetske tako i epigenetske.

Upoređenje karakteristika I i II tipa uglja

Br.	Karakteristične osobine	I tip	II tip
1	Makroskopski izgled	Jednorodan	Trakast — sastavljen iz proslojaka različitog sjaja
2	Prelom	Oštar i neravan	Oštar, neravan i školjkast
3	Sjajnost	Polusjajan	Polusjajan, sjajan i mat izgleda
4	Zastupljenost	Skoro jednaka	
5	Boja ogreba	Mrka	Mrka do crna
6	Osnovna masa	Geleficirana vitrinitska	Prisutna i vitrinitska i mikrinitska. Često su one prisutne zajedno u jednakim količinama
7	Struktura biljne materije	Retko izražena i to uvek u fuzenu i ksilo-vitrenu	Često izražena, vitren, fuzen, ksilofuzen i ksilen
8	Fuzenizirani elementi	Retki	Česti
9	Mikrostrukturni sastojci	Isti	
10	Smolna telašca	Retka	Česta
11	Mineralne materije	Iste	

LITERATURA

[1] R. Schubert: Geologija Dalmacije, 1909. god.

[2] A. Takšić i D. Jovanović: Ograničavanje ugljonosnog djela sinklinale Širitovci i pregled sinklinale Drinovci. Izveštaj (Fond SGZ).

[3] Z. Radošević: Dalmatinski ugljeni basen mrkog ugljena i lignita. Izveštaj (Fond SGZ).

[4] I. Crnolatac i Lj. Tomić: Izveštaj o pregledu rezultata bušenja garnitura u Širitovcima, Lišnjaku, Borića-platou i Nunića, 1950. god. Izveštaj (Fond SGZ).

[5] F. J. Pettijohn: Sedimentary rocks, New York, 1957.

[6] H. Freund: Mikroskopie der Steinkohle, des kokses und der Braunkohle. Frankfurt am Main.

[7] W. H. Twenhoffel: Principles of Sedimentation, New York, Toronto, London, 1950.

[8] W. Gothan: Kohle, III Band, 1 Teil, Stuttgart, 1937.

[9] E. Stach: Lehrbuch der Kohlenmikroskopie, Band I, Kettwig, 1949.

[10] V. S. Jablokov, L, I. Bogoljubova, V. V. Kalinenko, K. I. Inosova, A. M. Iščenko: Atlas mikrostruktura ugljeva Donjeckog basena, Moskva, 1955. godine.

[11] S. Radošević: Petrografski i mineraloški sastav ugljeva Istarskog basena (separatni otisak iz zbornika »II Kongres geologa FNRJ« Sarajevo, 1957. godine).

[12] B. I. Gudžežiani, B. K. Čičua, G. D. Petrovskij, G. A. Kometiani, M. V. Azmajparašvili, E. E. Avališvili, T. M. Mirziašvili: Atlas ugljeva Kavkaza, Moskva, 1961.

UMMARY

IE PETROLOGY OF COAL FROM ŠIRITOVCI MINE NEAR DRNIŠ (CROATIA)

'ANIŠA RADOŠEVIĆ
Institute for Nuclear Raw Materials, Beograd

From the petrological point of view the coal from Širitovci can be divided into two types:

1) the clarain type with a geleficied vitrain groundmass, and

2) the clarain-vitrain-durain type (mixed clarain).

These two coal types are developed almost in equal amounts. There are quite obvious microscopical and macroscopical differences between these two types. The first type is homogeneous while the second one shows a banded structure. The content of microtexture components is also different.

The deposition of plant materials and formation of coal took place in a peatbog which water level has been rather stable. This is indicated by relatively thick layers of clarain. Presence of mixed clarain-vitrain-durain layers was caused by relatively weak oscilations of water level. The formation of vitrain layers corresponds to the highest water level, which decrease is marked by formation of clarain and durain. The coal of Širitovci originated from peat-layer which has been formed of wooden plants.

As a whole the coal from Širitovci is of clarain type as well as of high üuality. It corresponds to brown coals which grade of carbonification is very near to a low grade stone coal.

The microtectonic of studied coal is very well expressed. It could be especially well observed at the microcomponents and most often at the cells of plant material in vitrain.

Deposition of quartz and feldspatic minerals is syngenetic, while occurrences of calcite, gypsum and clay minerals could be formed syngeneticaly and epigeneticaly as well.