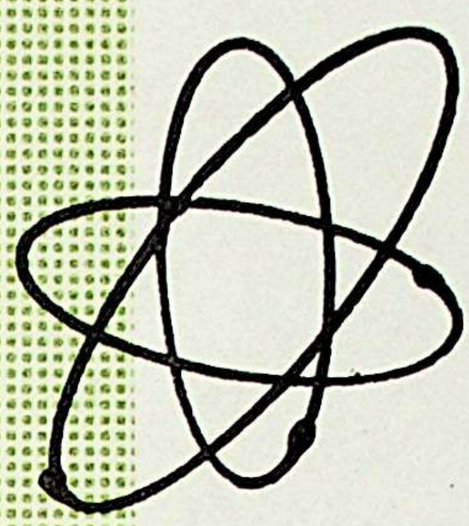


RADOVI

INSTITUTA ZA GEOLOŠKO-RUDARSKA ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA

GODINA IV / BROJ 5 / BEOGRAD 1969.

REDAKCIJSKI KOLEGIJUM:

Vojislav Vujanović
Desanka Popović
Stanislav Višić
Milorad Arsenijević
Milorad Teofilović
Gavrilo Deleon
Živadin Jakovljević
Spasoje Konjović

ODGOVORNI UREDNIK:

Milorad Teofilović

Tiraž: 500 primeraka

Štampa: Grafičko preduzeće »Radiša Timotić«, Beograd, Jakšićeva 9 — 1969.

SADRŽAJ — CONTENT

GEOLOGIJA

Strana
Page

1. V. Vujanović i M. Teofilović: Geologija, geneza i perspektivnost uranovih pojava u okolini Lozanice (Makedonija) 1

   V. Vujanović and M. Teofilović: The geology, genesis and the perspective value of uranium occurrences in the neighbourhood of Lozanica (Sout-east Macedonia) 13

2. M. D. Dimitrijević: Transpozicija i permutacija *s*-površina . . . 15

   M. D. Dimitrijević: Transposition and permutation of *s*-surfaces . 23

3. V. Vujanović, S. Višić, M. Teofilović: Belasica — geološko-petrološke karakteristike i pojave orudnjenja urana sa osvrtom na njihovu genezu 29

   V. Vujanović, S. Višić, M. Teofilović: Belasica — geological-petrological characteristics and occurrences of uranium mineralization and review of their genesis 65

4. Stanislav Višić: Uranonosnost sedimenata Zaplanja sa osvrtom na stepen istraženosti perma istočne Srbije 69

   Stanislav Višić: Uranium mineralization in sediments of Zaplanje area and general level of exploration of permian formations of eastern Serbia 82

5. Svetislav Pejatović: O intrasektorskoj zonalnosti hidrotermalnih orudnjenja 85

   Светислав Пејатович: Об интрасекторной зональности гидротермальных оруднений 93

GEOHEMIJA

6. Milorad Arsenijević: Opšti pregled rasporeda sadržaja retkih i drugih mikroelemenata u glavnim sulfidnim mineralima nekih olovno-cinkovih ležišta Jugoslavije 95

   М. Арсениевич: Некоторые общие замечания о присуствии редких и других микроэлементов в минералах некоторых свинцово-цинковых месторождений в Югославии 116

7. Milorad Arsenijević: Prilog poznavanju rasporeda urana i torijuma u tufovima (Vladičin Han) 119

   М. Арсениевич: Уран и торий в туфах (Владичин Хан — Сербия) . 127

MINERALOGIJA

Strana
Page

8. V. Vujanović, S. Cvetić: Regeneracioni i drugi postgenetski procesi u Fe-ležištima zapadne Makedonije 129

   V. Vujanović, S. Cvetić: Regenerations and other postgenetic processes in Fe-deposits of western Macedonia 138

9. V. Vujanović: Miomirit — olovni davidit iz Nežilova 147

   V. Vujanović: Miomirit, Pb-Davidit aus Nežilovo (Mazedonien) . . 154

PETROGRAFIJA

10. Staniša Radošević: Litofacijalne karakteristike permskih terigenih sedimenata Pohorja i njihovo uporedenje sa istim sedimentima Žirovskog Vrha i Škofje Loke u Sloveniji 157

    Станиша Радошевич: Литологические особенности терригенных осадков перми Похорья и их сравнение с отложениями пермского возраста Шкофъей Локи и Жировского Врха 170

11. Staniša Radošević: Litološke karakteristike permo-karbonskih terigenih sedimenata jugoistočne Bosne 173

    Staniša Radošević: Litologische Beschaffenheit karbon-permischer Ablagerungen in süd-östlichem Bosnien (Jugoslavien) 179

GEOFIZIKA

12. Vladan Simić: Mogućnost primene metoda koje koriste jednosmernu struju pri geoelektričnim ispitivanjima sulfidnih mineralizacija . . . 181

    Vladan Simić: Possibility of application of direct current geoelectrical methods for exploration of sulphyde mineralizations 193

13. Vladan Simić: Ispitivanje termoluminiscencije stena i ruda i praktična primena 195

    Vladan Simić: Thermoluminescent investigations of rocks and ores and its practical use 202

14. Slaviša Gojković, Ružica Nedimović: Direktno određivanje nekih metala »in situ« pomoću prenosnog analizatora fluorescentnog X-zračenja 203

    Slaviša Gojković, Ružica Nedimović: Direct determination of some metals »in situ« by portable X-ray fluorescence analyser . . . 213

15. Toplica Jančić: O mogućnosti primene geofizičkih metoda u cilju otkrivanja ležišta barita u oblasti Pljevlja, SR Crna Gora 215

    Toplica Jančić: On the possibility of application of geophysical methods in exploration for barite deposits in the Pljevlja area, Montenegro 219

KRATKA SAOPŠTENJA

16. Svetlana Hadži-Popović: Određivanje brohantita i halkantita putem termičkih ispitivanja 221

    Svetlana Hadži-Popović: Determination of chalkanthite and brochantite by thermical methods 224

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

V. VUJANOVIĆ i M. TEOFILOVIĆ

UDK: 553.495 (497.17)

GEOLOGIJA, GENEZA I PERSPEKTIVNOST URANOVIH POJAVA U OKOLINI LOZANICE (MAKEDONIJA)

(sa 2 priloga)

Ovaj rad treba da predstavlja sintezu svih rezultata ispitivanja i istraživanja na uran u oblasti Lozanice, pri čemu su autori izvršili izbor najdokumentovanijih podataka, uključujući i podatke iz svojih objavljenih i neobjavljenih radova. U pristupačnom materijalu postoji više hipoteza o načinu postanka opisanih pojava, ali su se autori opredelili za onu koja im je dala najviše argumenata.

Osnovne podatke o paragenetskim odnosima, genezi, geološkoj građi i tektonici terena autori su uglavnom crpeli iz sopstvenih radova.

U ovom radu reč je o mineraloškom sastavu uranovih parageneza, zatim o redosledu izlučivanja minerala i načinu postanka i najzad o perspektivnosti u pogledu na uran. Ovde postoje dve parageneze urana i to termalna i descendentna. Ova poslednja u stvari predstavlja uranovu rudu, a nastala je ispiranjem urana iz tufova, pod uticajem površinskih i podzemnih voda i deponovanjem uranovih minerala u migmatit-gnajsevima, tj. u prslinama, milonitskim partijama, liskuniziranim partijama i proslojcima škriljaca u ovim stenama.

Monoklinalne strukture, bez većih sinklinalnih, zatim kompaktnost migmatit-gnajseva, mala zastupljenost milonitskih partija i proslojaka škriljaca, predstavljaju negativne faktore u pogledu perspektivnosti na uran okoline Lozanice.

Lokalnost Loznica nalazi se oko 5 km jugoistočno od sela Vitolišta i to na južnim padinama planine Kozjak u Makedoniji. Glavne uranove pojave leže na padinama Vitoliške reke i to uglavnom na desnoj strani. Ovde su padine veoma strme, dok prosečna nadmorska visina terena iznosi 1200 metara, sa visinskim razlikama do 400 m.

Najveći deo terena pokriven je šumom, dok su padine Vitoliške reke sasvim bez humusnog pokrivača.

GEOLOŠKI SASTAV TERENA

U oblasti Lozanice prisutne su veoma različite stene, koje se ovde tako koncentrišu da u stvari predstavljaju Pelagoniju u malom. Tako su, prema dosadašnjim ispitivanjima, otkrivene sledeće formacije:

Gnajsevi, amfibolske stene, filitični škriljci, granitoidne stene, migmatiti, pegmatiti i njima

slične stene, kredni sedimenti, vulkanski tufovi i njihove breče, andeziti i serpentiniti.

Petrografska ispitivanja vršio je veći broj autora, a u novije vreme posebno su se ovim problemom bavili S. Divljan, S. Cvetić, V. Čebić i S. Hadži-Popović. Migmatite su prvi otkrili S. Cvetić i V. Vujanović, a metasomatske pegmatite V. Vujanović.

Filitični škriljci

Zastupljeni su u manjoj meri u istočnom delu terena i to u vidu jedne zone, debljine oko 100 metara, uklještene u gnajsevima. Znatnim delom radi se o argilošistima, a ostali odgovaraju filito-argilošistima. Tu i tamo u ovim stenama nalaze se brečaste i sočivaste partije muskovitskog gnajsa, koje naviše prelaze u filitične škriljce.

Muskovitski gnajsevi

Ove stene, zajedno sa amfibolskim, čine osnovu ispitivanog terena. Svetlosive su boje, najčešće srednjezrne, ređe relativno krupnozrne. Glavni sastojci su im kvarc, albit, albit-oligoklas, mikroklin i muskovit. Ponegde se među glavne minerale mogu ubrojiti epidot i zoizit. Biotit je redak, mada postoje manje partije biotitsko-muskovitskog, čak muskovitsko-sericitskog gnajsa. Sporedni su apatit, cirkon i granat.

Prema Vujanoviću (1957) svi gnajsevi iz opisane oblasti nastali su migmatizacijom para škriljaca.

U muskovitskom gnajsu zapažene su mestimično manje sočivaste partije biotitskog škriljca, za koga se smatra da je nastao iz bivših amfibolskih stena. Ovaj proces treba da je potpomognut i alkalnim rastvorima, koji su u takvim zonama imali najpovoljnije puteve.

Ugutar muskovitskih gnajseva zapaženi su proslojci i partije koje po svom makroskopskom izgledu podsećaju na mikašiste i filite, i koji su prema nekim autorima nastali u toku alpske orogeneze, pod dejstvom stresa na muskovitski gnajs. Prema jednom drugom shvatanju, ovde bi se uglavnom radilo o škriljcima koji nisu zahvaćeni procesom migmatizacije, tj. o njihovim neizmenjenim ostacima (Vujanović, 1957).

Amfibolske stene i eklogiti

Najveći deo ispitivanog terena karakterišu pojave manjih sočivastih masa amfibolita, amfibolskih škriljaca i nekad eklogita. Ovi poslednji najčešće postupno prelaze u amfibolske stene. Sve ove stene javljaju se paralelno folijaciji i škriljavosti gnajseva, a njihovo prostiranje u dubinu zasada je nepoznato. Granice amfibolskih stena i eklogita prema gnajsu svuda su oštre, dok pojedini varijeteti amfibolskih i eklogitskih stena postupno prelaze jedan u drugi.

A m f i b o l i t i su tamnozelene boje i zrnaste teksture. Veličina zrna na pojedinim izdancima prilično im varira. Sastoje se iz amfibola, andezina, ređe albita, malo biotita i kvarca. Primećeno je da je andezin često pretvoren u epidotsko-zoizitsko-sericitsko-albitski agregat (sosiritizacija), a da je albit uvek vrlo svež. Epidot se inače javlja dvojako i to s jedne strane kao normalan sastojak stene, a s druge kao produkt amfibola, ređe plagioklasa. Pored ovog često se javlja klinozoizit, a nekad i zoizit.

Pored opisanih, granoblastičnih, zapaženi su i »škriljavi« amfiboliti, koji predstavljaju kataklazirane partije ovih prvih. Usled mehaničkih i hemijskih izmena u ovim partijama primećuje se veće prisustvo sekundarnih minerala kao što su rutil, sfen i leukoksen, koji su otkriveni u amfibolitima transformisanim u biotitsko-hloritske škriljce.

E k l o g i t i se javljaju na isti način kao amfiboliti u koje prelaze preko amfibolskih eklogita i amfibolita sa granatom. Odlikuju se obiljem granata i piroksena žadeita, a nekad sadrže nešto kvarca, feldspata i ređe amfibola.

Plagioklas verovatno odgovara albitu, a javlja se, zajedno sa kvarcom, u vidu žilica i nepravilnih plaža, koje potiskuju ostale minerale iz stene, naročito piroksen, pri čemu nekad obrazuju sraslace slične mirmekitu. Interesantna je i pojava muskovita u eklogitima, koji se uglavnom javlja u njihovim obodnim delovima, tj. na kontaktu sa muskovitskim gnajsom.

Trakasti migmatit-gnajsevi

Najrasprostranjeniji su na obodu granitske mase Lozanice i zahvataju jedan pojas širok oko 400 metara. Mestimično ovi gnajsevi nastupaju i dalje od granita, tj. van pomenutog pojasa, dok je na drugim mestima jasno da stoje u vezi sa pegmatitima. Trakastog su izgleda, pri čemu se smenjuju muskovitske i kvarcno-feldspatske trake, a njihova širina iznosi do 10 santimetara. Mestimično, usled zadebljanja, pojedine trake dobijaju aplitski izgled, ili dolazi do pojave aplitoidnih gnajseva, u kom slučaju se može govoriti o »aplitiziranim« zonama. Mestimično trake imaju ptigmatski karakter.

Opisane stene su jednostavnog sastava koji u stvari odgovara onom kod muskovitskog gnajsa, samo što pokazuju znatno veći sadržaj feldspata, naročito mikroklina. Tako su krupnozrne kvarcno-feldspatske trake uglavnom izgrađene iz kvarca i mikroklina, koje u podređenoj količini prate albit i albit-oligoklas, koji je najčešće uklopljen u mikroklinu, sa manjom pojavom mirmekita na obodu. Prema sastavu i strukturi opisane trake bi odgovarale aplitoidnom granitu.Na kontaktu sa kvarcno-feldspatskim delovima muskovit je mestimično jako korodovan.

Liskunske trake najvećim delom su izgrađene iz muskovita, koga u minimalnim količinama prate kvarc i kiseli plagioklas. Ređi je biotit, dok se kao akcesorni sastojci pojavljuju apatit i magnetit. Kvarcno-feldspatski delovi migmatit-gnajseva su uglavnom injekcionog porekla, dok liskunske trake predstavljaju ostatke metamorfisanog pelitskog sedimenta.

Graniti

Relativno su slabo zastupljeni i javljaju se u vidu jedne veće mase u Vitoliškoj reci i na njenoj levoj strani ,kao i u vidu nekoliko manjih masa. Veličina glavne mase granita iznosi oko 0.5 km^2. Po svojoj dužoj osi ova masa je paralelna opštoj folijaciji i škriljavosti. U koritu Vitoliške reke postoji manja partija nešto svežijeg i kompaktnijeg granita, koja pokazuje makroskopski srednjezrnu teksturu.

Odnos granita prema okolnom gnajsu teško se može pratiti, kako iz razloga što je granit na obodu jače uškriljen, tako i zbog feldspatizacije gnajseva i njihovih uklopaka u granitu. Ovo je jedan od razloga što neki autori smatraju da je granit stvaran sintektonski i da se konkordantno utisnuo u okolne stene.

U pogledu mineralnog sastava granita važno je pre svega napomenuti da su minerali ranije faze kristalizacije (biotit, plagioklas) mehančiki deformisani i pod uticajem rastvora (fluida) bogatih u alkalijama i siliciji delimično zamenjeni novim mineralima, što treba da bude glavna mikroskopska potvrda sinkinematskog intrudovanja granita. Najnovija ispitivanja su, međutim, otklonila svaku sumnju da se radi o metasomatskom utiskivanju granita, ne samo u ovoj oblasti već i unutar celog prostora Pelagonida (lit. 21).

Bitni sastojci kod opisanih granita su kvarc, mikroklin, plagioklas (oligoklas) i biotit. Mikroklin se javlja u vidu krupnih zrna koja teže ka porfiroidnom razviću i koroduju ostale sastojke, naročito plagioklas, koji je najčešće pretvoren u sitnozrni agregat epidota, zoizita, muskovita i albita. U izvesnom broju preparata najviše je zastupljen albit, koji često ne pokazuje blizne lamele. Jaka pertitizacija mikroklina i postojanje mešovitih mikroklinsko-albitskih zrna, tj. krupnih »plaža« mikroklina u albitu i obratno, ukazivali bi, po mišljenju nekih autora, na postojanje prelazne serije od mikroklina ka albitu, nastale verovatno kao rezultat jedne kasno magmatske faze albitizacije mikroklina. Sastav zaostalog alkalnog rastvora verovatno se, po ovim autorima, menjao u skladu sa promenom temperature kristalizacije i drugim faktorima. Od akcesornih minerala prisutni su apatit, alanit (sa rubom epidota), neprovidni minerali i cirkon.

Važno je napomenuti da mikrostruktura opisane stene ne odgovara ni jednom čistom strukturnom tipu i mogla bi se okarakterisati kao mešavina hipidiomorfne zrnaste, kataklastične i granoblastične.

Žični pratioci granita

A p l i t i. Ako ne uzmemo u obzir mnoge ihorske žice i injekcije u gnajsevima, aplitske žice nisu rasprostranjene na opisanom terenu i uglavnom se koncentrišu u granitu, prema kome pokazuju oštar kontakt. One i ovde pokazuju pravac pružanja koji je najčešće paralelan opštoj folijaciji i škriljavosti. Aplitske žice iz granita sadrže kvarc, mikroklin, kiseli plagioklas i manju količinu muskovita, epidota i granata.

U obodnim delovima pegmatitskih tela zapaženi su prelazi ka aplitima, ili se tanje aplitske žice izdvajaju iz pegmatita i prodiru u okolne gnajseve.

Pegmatitske žice i sočiva znatno su rasprostranjeniji od aplitskih, a zaležu u muskovitskim gnajsevima i granitima. Orijentisane su najčešće paralelno opštoj folijaciji i škriljavosti. Mestimično se jače koncentrišu, a moćnost im dostiže i do 2 metra. Centralni delovi pegmatitskih žica izgrađeni su uglavnom iz mikroklina i kvarca, dok u obodnim preovlađuje plagioklasno-muskovitski agregat. Opisane žice skoro uvek sadrže krupne kristale epidota, duge i do 1 metar, koji se obično grupišu u spoljnim zonama pegmatitskih tela. Sasvim izuzetno pojavljuje se turmalin.

U zonama intenzivnog injektovanja i feldspatizacije pojavljuju se manja sočivasta tela koja jasno ukazuju na metasomatski postanak (Vujanović, 1957). Pomenute tvorevine pokazuju sitnozrnu do krupnozrnu teksturu i strukturu i izgrađene su iz kvarca, feldspata i muskovita.

Kvarcno-feldspatske i kvarcne žice

Kao i u drugim delovima pelagonijskog prostora i ovde je zapažen veći broj kvarcnih žica, koje nekad sadrže manju ili veću količinu feldspata. Sa povećanjem sadržaja ovog minerala i pojavom liskuna oni čine prelazne oblike ka pegmatitskim žicama. Kvarcne i kvarcno-feldspatske žice najčešće su ugrađene paralelno škriljavosti okolnih stena, a debljina im je vrlo varijabilna.

Andezitski tufovi, andeziti i njihove breče

Tufovi iz opisane oblasti predstavljaju samo mali deo prostranstva ove formacije, koja se inače javlja počev od Rasin Bejovog mosta, pa se preko s. Melnice i Vitolišta širi ka Lozanici i dalje prema Kozjaku. Druga partija zahvata teren južno i jugoistočno od s. Bešišta i preko reke Satoke ide na jug ka državnoj granici.

Debljina im je različita, a povećava se prema Kozjaku. Svi tufovi imaju isti mineralni sastav, samo im količina bojenih sastojaka varira. Svi vode poreklo iz iste magme, a erupcije su se dešavale u više faza. Andezitske stene zasada nisu otkrivene u vidu velikih masa, s obzirom da se glavni centar vulkanske aktivnosti nalazio u prostoru Kožuf—Dudice.

Jedan deo andezitskog materijala potiče sa Kožufa, tako da se nailazi i na komade andezita u tufu veličine i do 2 metra. Materijal koji je dao tufove samo je delimično bio pretaložavan. Tufovi koji se smenjuju sa krečnjacima, pliocenske su i delom kvartarne starosti (11, 17).

Serpentiniti

Čine jednu isprekidanu zonu od Crvenog Blana na severu, preko Šumovitog grebena, do jugoslovensko-grčke granice na jugu. Ova zona je na izvesnim mestima prekinuta probojima andezita ili pokrivena andezitskim tufovima. Mestimično je serpentinitska masa pretvorena u agregat kuglastog serpentinita (lit. 17), prečnika i preko 20 santimetara, koji pod-

seća na konglomeratičnu tvorevinu. Na osnovu položaja serpentinita, kao i pojava agregata kuglastih serpentinita, proizilazi da su ove stene tektonski, duž ravni kraljuštanja, utisnute u kristalaste škriljce pod uglom od 45—55°.

Gornjekredni sedimenti

Zauzimaju jugozapadni deo istraživanog terena. Utvrđeni su turonski i senonski sedimenti, predstavljeni u različitim facijama.

Turonski sedimenti su otkriveni u Satoka reci. Sastav im je vrlo heterogen u litološkom pogledu i čine ga mermeri, škriljavi mermeri, laporoviti krečnjaci, kalkšisti, filiti i sericitski škriljci. Jako su metamorfisani, polomljeni i škriljavi.

Senonski sedimenti zauzimaju istočne padine Pandelemona i Labinice. Razvijeni su u faciji mermerisanih krečnjaka, mermera i cipolina. Često su brečasti i polomljeni, tako da im se prava slojevitost teško uočava.

TEKTONSKI SKLOP TERENA

Masiv Kozjaka u čiji sastav ulazi i Lozanica, pripada i uklapa se u opštu strukturnu građu Pelagonida, kao tektonske jedinice prvog reda. Tačnije, pripada istočnom krilu Pelagonijskog antiklinoriuma u delu koji se približava granici sa Vardarskom zonom.

Tektonika šire oblasti Lozanice je približno jednostavna i karakteriše se monoklinalnim padom svih formacija (Profil A—A1) ka istoku ili severoistoku, kao i pojavama kraljuštastih kretanja duž reversnih raseda.

Vreme formiranja tektonskih odnosa bliže je određeno otkrivanjem gornjekrednih tvorevina. Sada je sigurno da su današnje tektonsko obeležje ovom terenu dali alpiski pokreti i to za vreme laramijske faze. Mlađe alpske faze u ovoj i širim oblastima manifestovale su se većim ili manjim radijalnim pukotinama.

Tektonsku karakteristiku oblasti Lozanice daju tri kraljušti. Ovde na prvo mesto dolazi Kozjačka kraljušt, gde su muskovitski gnajsevi kraljuštani preko filita. Pravac joj je severozapad-jugoistok, a reversni rased kao linija kraljuštanja pada prema I—SI, pod uglom od 30—60°. Druge dve su kraljušti u predelu Labinice i Crne tumbe, gde su kraljuštani filitični škriljci preko turonskih tvorevina, a ove preko senonskih. Pravci kraljuštanja i pada skoro su isti kao kod kozjačke kraljušti.

U celini uzeto sve linije kraljuštanja, tj. reversni rasedi i kristalaste i sedimentne formacije uklapaju se u opšte odnose istočnog krila antiklinorijuma i padaju u istočno i severoistočno polje, pod 30—55°.

Pored regionalnih kraljušti, na terenu se mogu uočiti i manji nabori, koji najverovatnije predstavljaju zasvođenja usled intruzija, a koji su kasnijim rasedima potpuno deformisani.

B. Sikošek je detaljnije radio u užoj oblasti Lozanice i utvrdio manje tektonske linije pravca S—J, SZ—JI i SI—JZ. On kaže da se idući u dubinu ove linije često lome, da su ispresecale kristalastu masu i da predstavljaju vrlo pogodne puteve za cirkulaciju rastvora.

POJAVE URANOVIH MINERALIZACIJA

Rudne pojave nalaze se na padinama planine Kozjak, a glavne mineralizacije su locirane u koritu i na stranama Vitoliške reke. Ovde su prvobitno vršena istraživanja na pegmatitima u kojima se javlja radioaktivni epidot sa kristalima dugim i preko 1 metra, a zatim se počelo sa istraživanjima u migmatit gnajsevima. Rudne pojave nastupaju u prslinicama u migmatit gnajsu, zatim unutar liskunovitih partija u ovoj steni, koje predstavljaju manje-više nemigmatizirane para škriljce, ređe liskunite, zatim u milonitskim partijama u migmatit gnajsu, ređe u vidu impregnacija. Takođe su zapažena lokalna nagomilanja minerala duž cepljivosti liskuna u navedenim stenama. Moćnost žilica je relativno mala i retko dostiže 1 santimetar, u kom slučaju preovlađuju pirit i kvarc, dok se ostali minerali oskudno javljaju.

U reviru Lozanice istražni radovi vođeni su uglavnom s desne strane Vitoliške reke. Pri tom je urađeno 998,7 metara potkopa, zatim raskopa u ukupnoj zapremini od oko 900 m^3 i najzad bušotina u ukupnoj dužini od oko 1800 metara.

Hemijske i radiometrijske analize pokazale su da je sadržaj urana vrlo kolebljiv i da se uglavnom kreće između nekoliko desetina i nekoliko hiljada grama po toni. Samo u jednoj probi sadržaj urana iznosio je 44.000 gr/t. Za torium su uglavnom dobijene veoma niske vrednosti. Njegov sadržaj retko dostiže 50 gr/t, a samo jedna proba dala je 9.900 gr/t.

Mineraloški sastav i paragenetski odnosi

Prva rudno-mikroskopska ispitivanja obavio je još D. Radusinović, koji je, pored pehblende, otkrio i prisustvo pirita, bravoita, markasita, kao i sulfida olova i cinka. Detaljnija ispitivanja koja smo mi obavili pokazala su da ovde postoje tri parageneze i to pneumatolitsko-hidrotermalna, mezo-epitermalna i descedentna.

Pneumatolitsko-hidrotermalna parageneza

Dosada su ovde otkriveni uraninit, pirit, pirhotin, pentlandit, halkopirit i kvarc. Radioaktivni epidot iz okolnih pegmatita ovde nije uzet u obzir. Mestimično se javljaju ljuspice molibdenita i grafita, ali u nejasnim paragenetskim odnosima.

Uraninit se javlja u vidu sitnih zrna i kristalića u migmatit-gnajsu i skoro nikad ne prorasta sa ostalim članovima parageneze. On je slabo zastupljen.

Pirhotin se javlja u vidu zrna promenljive veličine, retko u vidu manjih partija i plaža. Delom je potisnut halkopiritom u kome se nekad javlja u vidu ostataka.

Pentlandit. Ovaj mineral se uglavnom pojavljuje u tragovima i to skoro isključivo u pirhotinu i halkopiritu. U prvom slučaju on vrši ulogu potiskivača i često se javlja u vidu »plamenova«, dok je s druge strane potisnut halkopiritom i u njemu često uklopljen. Sasvim izuzetno pentlandit se javlja u vidu samostalnih zrna u steni.

Halkopirit je paragenetski usko vezan za pentlandit i pirhotin, koje potiskuje i delom uklapa. Količinski je vrlo oskudan, ali ga ima više nego pentlandita.

Red deponovanja: Uraninit-kvarc-pirhotin-pentlandit-halkopirit

Po svemu sudeći u pneumatolitskoj fazi izlučili su se samo uraninit i jedan deo kvarca, dok su ostali minerali stvarani u katatermalnoj fazi hidrotermalne akcije.

Hidrotermalna (mezo-epi) parageneza

Znatno je zastupljenija, ali i ona predstavlja uglavnom mineraloško pojavu. Količinski je jače izražen jedino pirit, a prati ga veći broj minerala i to: bravoit, markasit, sfalerit, galenit, halkopirit, bornit, pehblenda, sternbergit (?), samorodni bizmut kao i dva neodređena minerala koji verovatno spadaju u Co-Ni seriju, odnosno u grupu sulfosoli bizmuta.

Pirit se javlja u vidu zrna i kristala promenljive veličine — ređe u vidu kristalnih druza i plaža. Žilice pirita mogu biti debele do 1 santimetar. Mineral je najstariji član parageneze, ne računajući hromni spinel, koga nekad potiskuje. Hromni spinel je, međutim, pratioc bazičnih stena iz opisane lokalnosti i njihovo prorastanje je sasvim slučajno. Pirit je nekad zonarno građen.

Markasit je najčešće sekundarnog porekla i nastao je iz pirita, kao i pirhotina iz prethodne parageneze. U ovom drugom slučaju redovno je finozrn, nekad radijalan i ritmičan. Primarni markasit pokazuje nekad testerasto bližnjenje.

Sfalerit uglavnom pripada poluprovidnom varijetetu bez izdvajanja, ili sa retkim, sitnim izdvajanjima halkopirita. Samo u jednom slučaju zapažen je sfalerit sa gustim izdvajanjima pirhotina i halkopirita, što ide u prilog pretpostavci da nije nastao na niskoj temperaturi. Sfalerit nekad potiskuje pirit, od koga je mlađi.

Bornit se javlja sporadično i to obično u halkopiritu kao mlađem mineralu.

Halkopirit je u nekim preparatima znatnije zastupljen. Pojavljuje se zajedno sa sfaleritom (izdvajanja), ali je najvećim delom mlađi od ovog minerala, tako da nekad pravi oreole oko njegovih zrna.

Šternbergit (?) je vrlo redak i javlja se u vidu sitnih zrna u galenitu. Mada nije mogao biti sigurno dokazan, više elemenata ukazuje da je reč o ovom mineralu a to su njegov način pojavljivanja, boja, tvrdina, kao i količina odbijene svetlosti u rudnom mikroskopu.

Bizmut se javlja isključivo u halkopiritu i to uglavnom u vidu sitnih zrna. Lamelaran je. Nekad je praćen žućkastim mineralom, koji se javlja u vidu sitnih zrna i koji verovatno spada u grupu sulfosoli biznuta.

Pehblenda je najčešće sitnozrna, često ovalne i ritmičke građe. Spada među najmlađe minerale ove parageneze, pa čak potiskuje i galenit. Pretežno ima svoje područje izlučivanja. Nekad je potisnuta i uklopljena u descedentnoj pehblendi. Uglavnom je slabo zastupljena.

Descedentna parageneza

Znatan broj minerala bio je posle stvaranja podvrgnut hemijskim izmenama i pretvaranjima usled dejstva descedentnih voda. Tako se pirit često pretvara u markasit i limonit, bornit i halkopirit u halkozin i kovelin, a pirhotin u finozrni agregat markasit-pirit, odnosno markasit. Najzad, kao produkti raspadanja galenita javljaju se anglezit i ceruzit.

Od descedentnih uranovih minerala javljaju se pehblenda, autunit, metatorbernit, gumit i radioaktivni limonit.*

S druge strane, delom u oksidacionoj delom u cementacionoj zoni, stvaraju se neki minerali koji su već postojali kao što su pirit, markasit i galenit, a prati ih nešto psilomelana i limonit.

P i r i t se javlja u vidu sitnih zrna, koja su najčešće ovalnog oblika (»orudnjene bakterije«). Izlučuje se u dve generacije i često se i sam pretvara u markasit ili raspada u limonit.

P e h b l e n d a je jedan od glavnih uranovih minerala u opisanoj lokalnosti i najčešće je trošna i nečista. On često postupno prelazi u limonit ili amorfnu do finozrnu silicijsku masu. Često se pri tom u stvari radi o stvaranju finozrnih agregata, sastavljenih iz mešavine pehblende, limonita i silicijskog materijala, sa promenljivim sadržajem pojedinih komponenata. Ova pehblenda nekad sadrži uklopke starije, epitermalne pehblende.

A u t u n i t i t o r b e r n i t su takođe česti, naročito u gornjim nivoima, gde se nekad jače koncentrišu.

G a l e n i t se javlja vrlo retko i to uglavnom sa anglezitom i ceruzitom, sa kojima finozrno prorasta i gradi ritmičke figure. Sekundarni galenit je stvaran na račun primarnog galenita i anglezita.

P s i l o m e l a n se javlja mestimično, često sa limonitom. Najčešće je finozrn i izgleda rendgenografski amorfan.

GENEZA

Uranova mineralizacija javlja se uglavnom na desnoj strani Vitoliške reke i to u gnajsevima koji su nastali migmatizacijom škriljaca, a pod uticajem granitoidnih stena, koje se javljaju u bližoj i daljoj okolini.

Uranovi minerali javljaju se pre svega u proslojcima koji predstavljaju nemigmatizirane delove škriljaca, u liskunskim proslojcima i prslinama u migmatit-gnajsu, a retko u jedroj steni. Milonitske partije u migmatit-gnajsu takođe su služile za deponovanje uranovih minerala.

Uranovu mineralizaciju čine tri parageneze koje su se izlučivale jedna za drugom:

P n e u m a t o l i t s k o - h i d r o t e r m a l n a, koju izgrađuju uraninit, molibdenit, grafit, pirit, pirhotin, pentlandit, halkopirit i kvarc.

M e z o - e p i t e r m a l n a u čijoj izgradnji učestvuju pirit, bravoit, markasit, sfalerit, galenit, halkopirit, bornit, pehblenda, sternbergit, samorodni bizmut i dr. i

---

* Autunit, metatorbernit i gumit određeni su u mineraloškoj laboratoriji Instituta (lit. 13, 14).

D e s c e d e n t n a parageneza sastava pehblenda, autunit, metatorbernit, gumit, radioaktivni limonit, limonit, halkozin, kovelin, pirit, markasit, anglezit, ceruzit, galenit i psilomelan.

Ako se gornja slika uprosti dobićemo dve uranove parageneze i to t e r m a l n u i d e s c e d e n t n u. Prva je količinski sasvim oskudna i predstavlja samo mineraloško pojavu. Termalna parageneza po svoj prilici nije u celini juvenilnog karaktera i verovatno su neki njeni članovi nastali putem regeneracije. Tako ima dovoljno elemenata za pretpostavku da je grafit slučajan pratilac ove parageneze i da je nastao svarivanjem ugljene materije, odnosno krečnjaka, od strane juvenilnih rastvora. Takođe je značajno napomenuti da su pirhotin, pentlandit i halkopirit nađeni i kao pratioci bazičnih stena iz ove lokalnosti, pa je moguće da su i oni delom regenerisani. Da li je i u kojoj meri uran regenerisan iz okolnih stena zasada se ne može nešto određenije reći. Termalne parageneze genetski su vezane za okolne granitoidne stene.

Descedentna parageneza predstavlja glavnu uransku mineralizaciju i ona u stvari predstavlja uranovu rudu u ovoj lokalnosti. Ovde se, međutim, postavlja jedno bitno pitanje:

Odakle su descedentni rastvori crpeli uran, kada su primarne mineralizacije bile tako oskudne.

Nama odgovor na ovo pitanje izgleda prilično jednostavan i on bi se ukratko sveo na zaključak da su površinske i podzemne vode ispirale uran iz tufova koji su odve jako zastupljeni. Termalni uranovi minerali kao i uran iz granita po svoj prilici bili su samo prateći snabdevači descedentnih voda.

Ovakva interpretacija dobija u značaju posebno ako se pogleda tabela radioaktivnosti stena iz koje se jasno vidi da su tufovi i andeziti daleko najradioaktivnije stene u široj okolini opisane lokalnosti.* Kako su andeziti mnogo kompaktniji od tufova, pa samim tim i otporniji na dejstvo descedentnih voda, tufovi treba da su glavni snabdevači ovih voda uranom u konkretnom slučaju.

Interesantan je takođe raspored uranovih pojava u oblasti Lozanice, koji se može videti na priloženoj geološkoj karti. Na ovoj karti se vidi da uranove pojave pokazuju i prostornu vezu sa tufovima, što je karakteristično i za šire područje ovog dela Pelagonida. Takođe se uočava da tufovi leže uvek preko svih formacija i da prekrivaju kote i gornje delove padina, a da se uranove pojave javljaju u nižim nivoima i to na pravcima cirkulacije površinskih i podzemnih voda, koje prethodno prolaze kroz tufove.

Mada descedentne uranove parageneze nisu u direktnoj genetskoj vezi sa tektonskim pokretima u ovoj oblasti, njihovo stvaranje je u velikoj zavisnosti od ovih događaja, pošto su i hladne vode koristile tektonski oslabljene zone, inače do orudnjenja uranom ne bi ni moglo da dođe, s obzirom da migmatit-gnajsevi, koji nose orudnjenja, predstavljaju najvećim delom sveže kompaktne stene, nepropustljive za descedentne vode.

---

* Prema ispitivanjima S. Gojkovića opisani tufovi sadrže oko 20 gr/t. urana i 60 gr./t. toriuma.

Na kraju se postavlja pitanje porekla urana u tufovima iz opisane oblasti. Mada ove stene predstavljaju pod određenim uslovima povoljnu sredinu za naknadno deponovanje urana, autori ovu mogućnost uglavnom isključuju, i to iz dva razloga. Prvo, što u bližoj i daljoj okolini tufova nisu prisutne stene koje sadrže povećane koncentracije urana i drugo, što andeziti iz opisane oblasti pokazuju skoro identičnu radioaktivnost kao i opisani tufovi. Kako andeziti stoje u genetskoj vezi sa ovim stenama, a uz to ne predstavljaju povoljnu sredinu za naknadna deponovanja urana, autori su došli do zaključka da je uran u tufovima i andezitima uglavnom prinešen u toku vulkanske akcije koja je ove stene i dala.

PERSPEKTIVNOST

Dosadašnja istraživanja i ispitivanja ukazala su na postojanje određenog broja ključnih faktora koji kontrolišu uranova orudnjenja u ispitivanoj oblasti i to:

1). Pojava radioaktivnih tufova u višim nivoima i prostorna veza između ovih stena i uranovih mineralizacija descedentnog tipa.

2). Uranove mineralizacije locirane su u migmatit-gnajsevima.

3). Sistem prslina u migmatit-gnajsevima, proslojci škriljaca, i milonitizirane partije su glavni nosioci uranovih minerala i

4). Osnovne tektonske strukture ispitivane oblasti.

Pojava tufova sa povećanom radioaktivnošću predstavlja vrlo povoljnu okolnost, pošto su oni u opisanoj lokalnosti glavni snabdevači descedentnih voda uranom. Debljina tufova (do 200 m), kao i njihova rasprostranjenost takođe predstavljaju pozitivan faktor za stvaranje manjih ležišta urana u ovoj oblasti.

Okolne stene u kojima se javljaju uranova orudnjenja predstavljaju negativan faktor, pošto se radi o kompaktnim migmatit-gnajsevima, a broj i veličina proslojaka škriljaca u njima, kao i milonitizirane partije nisu takvih dimenzija da bi omogućili stvaranje ležišta u opisanoj lokalnosti.

Osnovna tektonika, koju karakteriše monoklinalna struktura (istočno krilo antiklinoriuma), uz odsustvo većih sinklinalnih struktura, predstavlja vrlo negativan faktor u pogledu mogućnosti koncentracije većih količina urana descedentnog tipa.

Sistem prslina o kome je govoreno u odeljku o tektonici takođe ne predstavlja povoljnu okolnost, pošto je ovaj sistem u konkretnom slučaju uglavnom igrao ulogu kanala kroz koje su cirkulisali descedentni rastvori, zbog čega je dolazilo do rasejavanja uranovih minerala, a ne do njihove koncentracije u navedenom sistemu, kako je to obično slučaj sa termalnim mineralizacijama.

Sve bi ovo moglo da važi i za šire područje unutar koga se javljaju andeziti i njihovi tufovi, ukoliko naknadna ispitivanja ne bi otkrila povoljne strukture. Pri tom treba posebno naglasiti da se uranove minera-

lizacije ovog tipa mogu očekivati i tamo gde njih na površini nije uopšte moguće indicirati, naročito tamo gde descedentne vode, posle prolaska kroz tufove nastavljaju cirkulaciju kao podzemne vode, usled čega na površini ne ostavljaju nikakvog traga o svojoj aktivnosti.

(Predato za štampu oktobra 1968. god.)

OSNOVNA LITERATURA

1. Cvetić S., 1957: — Petrografski sastav uže okoline Vitolišta. Fond str. dok. INS, Beograd.
2. Divljan S., Ćebić V. i Cvetić S., 1960· — Rezultati petrografskog ispitivanja granita i gnajseva uže okoline s. Vitolišta u Makedoniji. Glas. Prir. muz. Serija A, Beograd.
3. Jakovljević M. i Cvetić S., 1956: — Izveštaj o detaljnom geološkom kartiranju Lozanice. Fond str. dok. INS, Beograd.
4. Jokanović V., 1957: — Izveštaji o rudarskim istražnim radovima u Vitolištu. Fond str. dok. INS, Beograd.
5. Jokanović V., 1958: — Koncepcija o uranskom orudnjenju na području Vitolišta. Fond str. dok. INS, Beograd.
6. Kober L., 1952: — Leitlinien der Tektonik Jugoslawiens. Geol. ins. Srpske akad. nauka. Pos. izd. 3, Beograd.
7. Nedimović R. i Višić S., 1956: — O geofizičkim ispitivanjima terena Vitolišta. Fond str. dok. INS, Beograd.
8. Nedimović R., 1958: — Prethodni izveštaj o geofizičkim radovima na terenu Vitolišta. Fond str. dok. INS, Beograd.
9. Petković K., 1958: — Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden. Jahr. der Geol. Bundesanst. 101 Bd., Hf. 1, Wien.
10. Pejović D. i Teofilović M., 1958: — Nov prilog za poznavanje gornje krede u Makedoniji. Zapis. Srpskog geol. društv. za 1958—1959. god., Beograd.
11. Radovanović V., 1930: — Mlade vulkanske stene i oblici u neogenu kraj Vardara na ulazu u Tavorsku klisuru i pred Demir Kapijom. Godišnjak Skopskog fil. fak. I, Skoplje.
12. Ristić M., 1962: — Izučavanje granitoida Pelagonida i njihova perspektivnost na uran. Fond str. dok. INS, Beograd.
13. Ristić M., 1962: — Procena perspektivnosti Pelagonida. Fond str. dok. INS, Beograd.
14. Sikošek B., 1957: — O obilasku terena u oblasti Vitolišta. Fond str. dok. INS, Beograd.
15. Tajder M., 1940: — Kožuf — Petrografija i petrogeneza vulkanskih stijena. Vjesnik Geol. inst. Kralj. Jugosl., VIII, Beograd.
16. Teofilović M., 1958: — Prva beleška o senonu Nidže — Pletvar i njegov značaj za tektoniku Pelagonijskog masiva. Zapisnici Srps. geol. društ. za 1958—59., Beograd.
17. Teofilović M., 1966: — Geološki sastav i tektonski sklop planinskog kompleksa Kozjak — Nidže i Selečka planina. Posebna izdanja Inst. za nuklearne i dr. sirovine, Beograd.
18. Vučićević Đ., 1957: — O rudarskim istražnim radovima u Strumici i Vitolištu. Fond str. dok. INS, Beograd.
19. Vujanović V., 1956: — O izmenama i izomorfizmu kod oksida gvožđa i oksida gvožđa i titana. Glas Prir. muz. Serija A, Beograd.
20. Vujanović V., 1957: — O obilasku istražnih radova u oblasti Vitolišta. Fond str. dok. INS, Beograd.
21. Vujanović V., 1964: — Izveštaj o rezultatima dosadašnjih ispitivanja i istraživanja u Pelagoniji. Fond str. dok. INS, Beograd.

Summary

V. VUJANOVIĆ and M. TEOFILOVIĆ*

THE GEOLOGY, GENESIS AND THE PERSPECTIVE VALUE OF URANIUM OCCURRENCES IN THE NEIGHBOURHOOD OF LOZANICA (SOUTH-EAST MACEDONIA)

In the vicinity of Vitolište village in the area of Lozanica, in South Macedonia, a large number of uranium occurrences has been discovered and some of these have been investigated. These occurrences are generally found in migmatite gneisses, notably in the small cracks, in the mylonite portions and in the interlayers of non-migmatized schists and »liscunites« in the migmatized gneisses.

Investigations point to three uranium parageneses there:

The pneumatolytic-hydrothermal paragenesis is composed of uraninite, molybdenite, graphite, pyrite, pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite and quartz. It is of interest to note that in the surrounding pegmatites, there also occurs radio-active epidote in crystals even 1 metre or more in length.

The meso-epithermal paragenesis is composed of pyrite, bravoite, marcasite, sphalerite, galenite, chalcopyrite, bornite, pitchblende, sternbergite, native bismuth and others.

The descending paragenesis is composed of pitchblende, autunite, metatorbernite, gummite, radio-active and common limonite, chalcocite, covellite, pyrite, marcasite, anglesite, cerussite, galenite and psilomelane.

In all these occurrences, the thorium content is low (up to 50 ppm Th) as a rule.

Thermal parageneses are the product of granitoid rocks occurring in the nearer or wider neighbouthood, but it is supposed that graphite was formed by coal or limestone melting. It may also be possible that pyrrhotite, pentlandite and chalcopyrite regenerated in part from the surrounding basic rocks where they have also been discovered.

The descending paragenesis represents the main uranium mineralization and in fact, this is the main uranium ore in this area. It is a leaching product, surface and underground waters washed out uranium from the surrounding tuffs and deposited it in the above rocks.

Such an interpretation gains particular significance when observing the distribution of uranium occurrences in the investigated area.

As can be clearly seen from the enclosed map, the uranium occurrences also show a spatial relationship with the tuffs which is characteristic also of the wider region of the Pelagonides. It has also been observed that all the formations are overlain by tuffs. These cover the peaks and the upper portions of the slopes whereas uranium occurrences appear in the lower levels along the direction of the surface and underground waters which have circulated previously through the tuffs. The Table of Radio--active rocks shows that the tuffs and andesites are by far the most radio--active rocks in this area. Since andesites are much more compact than the tuffs in this area and thus more resistant to the effect of descending

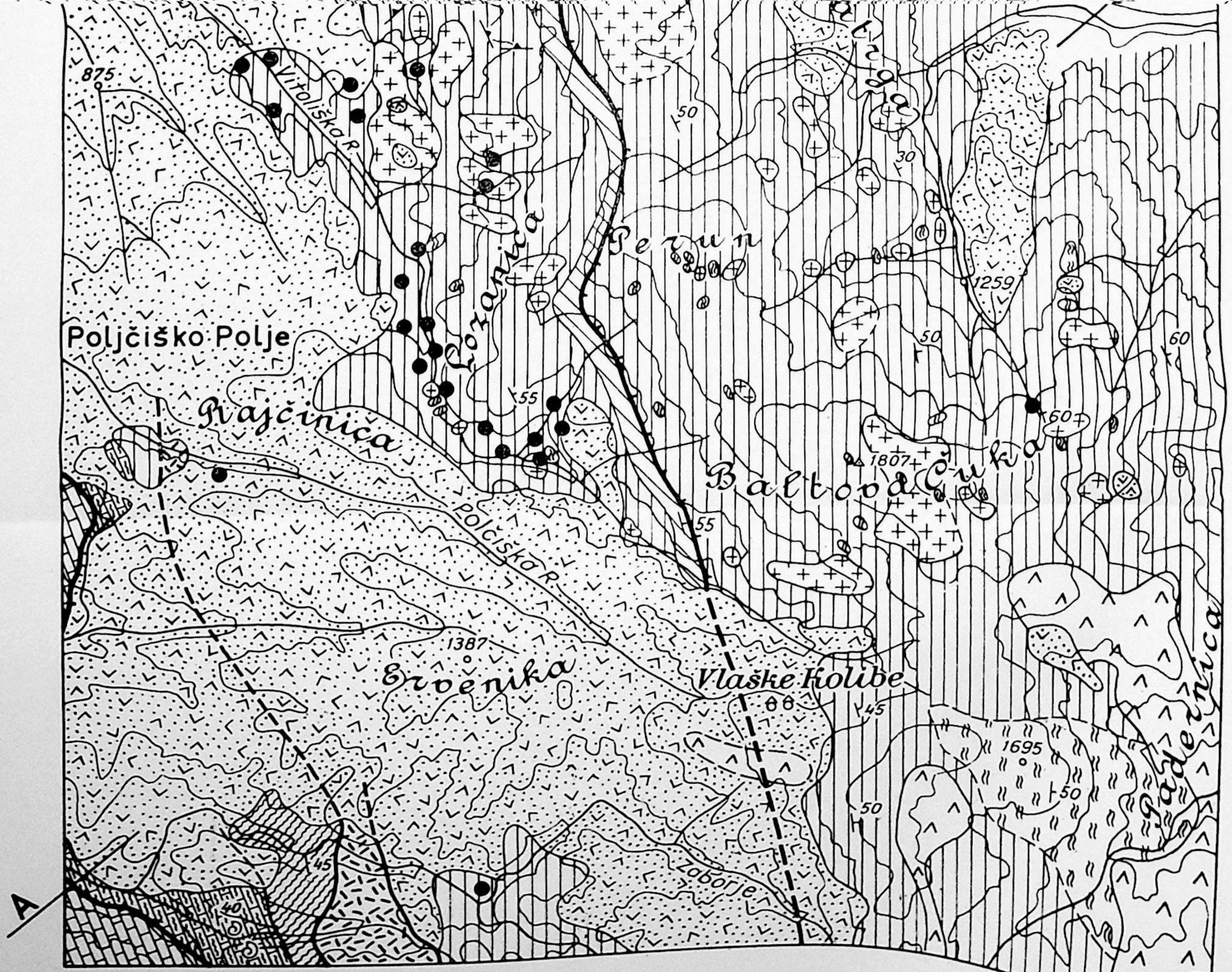
---

* Institute for geological and mining investigation and exp'oration of nuclear and other mineral raw materials Beograd.

Prilog 1

GEOLOŠKA KARTA
ŠIRE OKOLINE LOZANICE (KOZJAK)

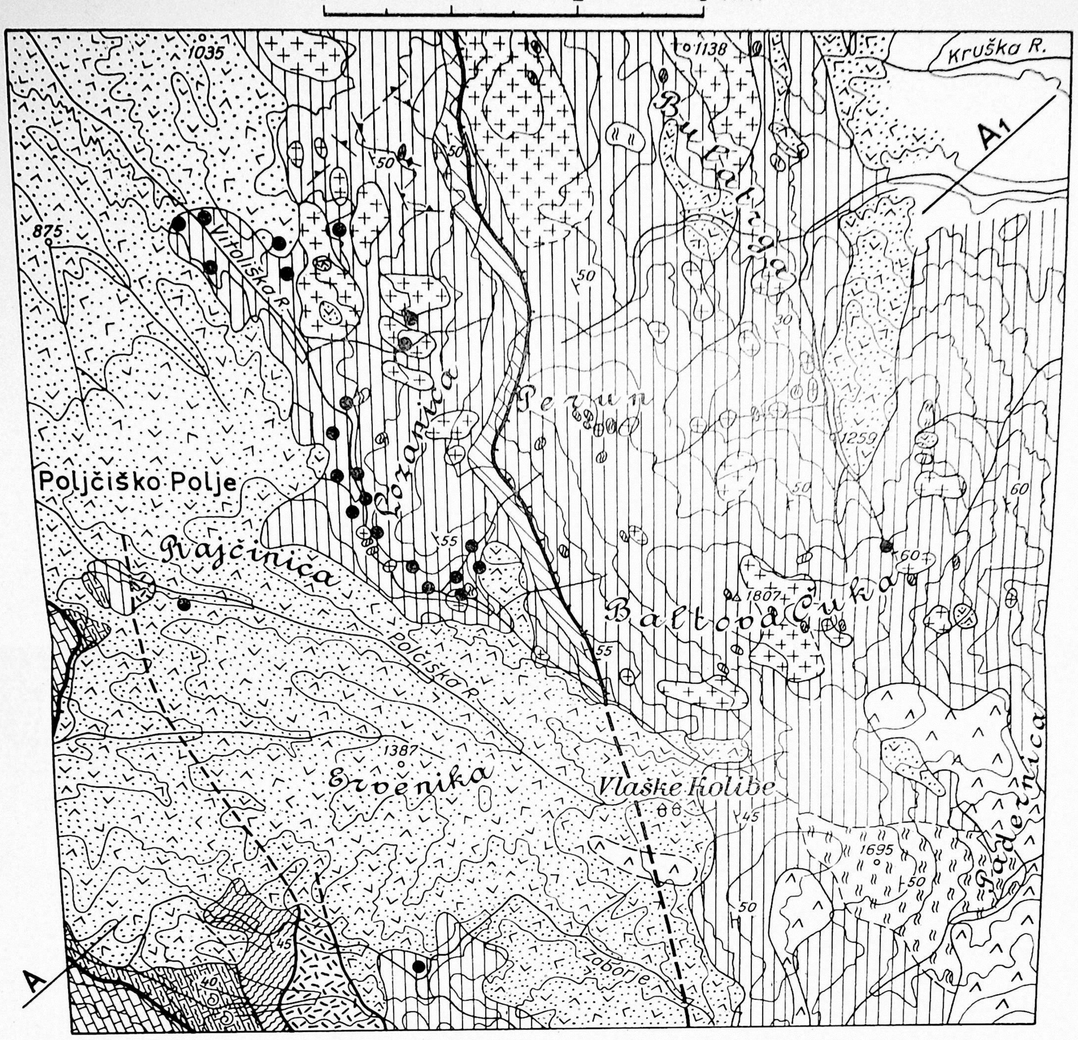
0 1 2 3 Km

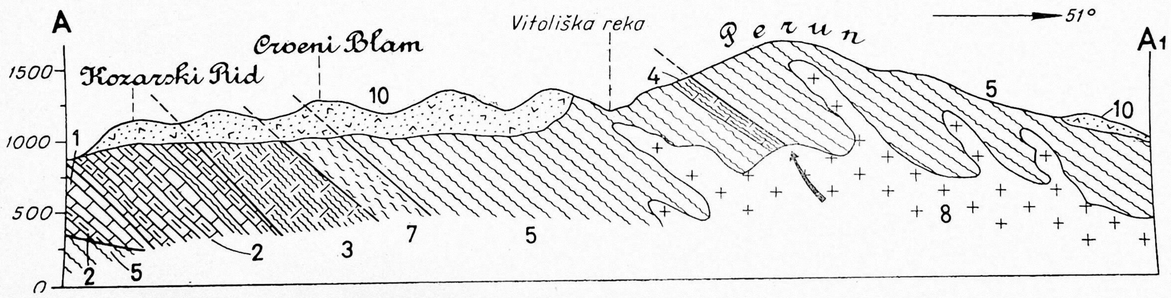


Poljčiško Polje
Vitoliška R.
Lozanica
Perun
Rajčinica
Polčiška R.
Baltova Čuka
Ervenika
Vlaške Kolibe
Zaborje
Padernica
875
1259
1807
1387
1695
50
30
55
60
45
40
A

GEOLOŠKA KARTA
ŠIRE OKOLINE LOZANICE (KOZJAK)

0 1 2 3 Km





LEGENDA

1. SENONSKI MERMERI, MERMERISANI ŠKRILJAVI I BREČASTI KREČNJACI
2. TURONSKI MERMERI (ŠKRILJAVI) LAPOROVITI KREČNJACI, KALKSISTI, SERICITSKI I FILITIČNI ŠKRILJCI
3. FILITIČNI ŠKRILJAC
4. FILIT
5. MUSKOVITSKI GNAJS
6. AMFIBOLSKE STENE
7. SERPENTINIT
8. GRANIT
9. ANDEZIT
10. ANDEZITSKI TUF

- PEGMATITSKA ŽICA
- PEGMATITSKA ŽICA SA EPIDOTOM
- REGIONALNA KRALJUŠT
- KRALJUŠT
- PREDPOSTAVLJENI RASED
- 50 PRAVAC PADA
- RASED
- FOSILONOSNO NALAZIŠTE
- URANOVE POJAVE

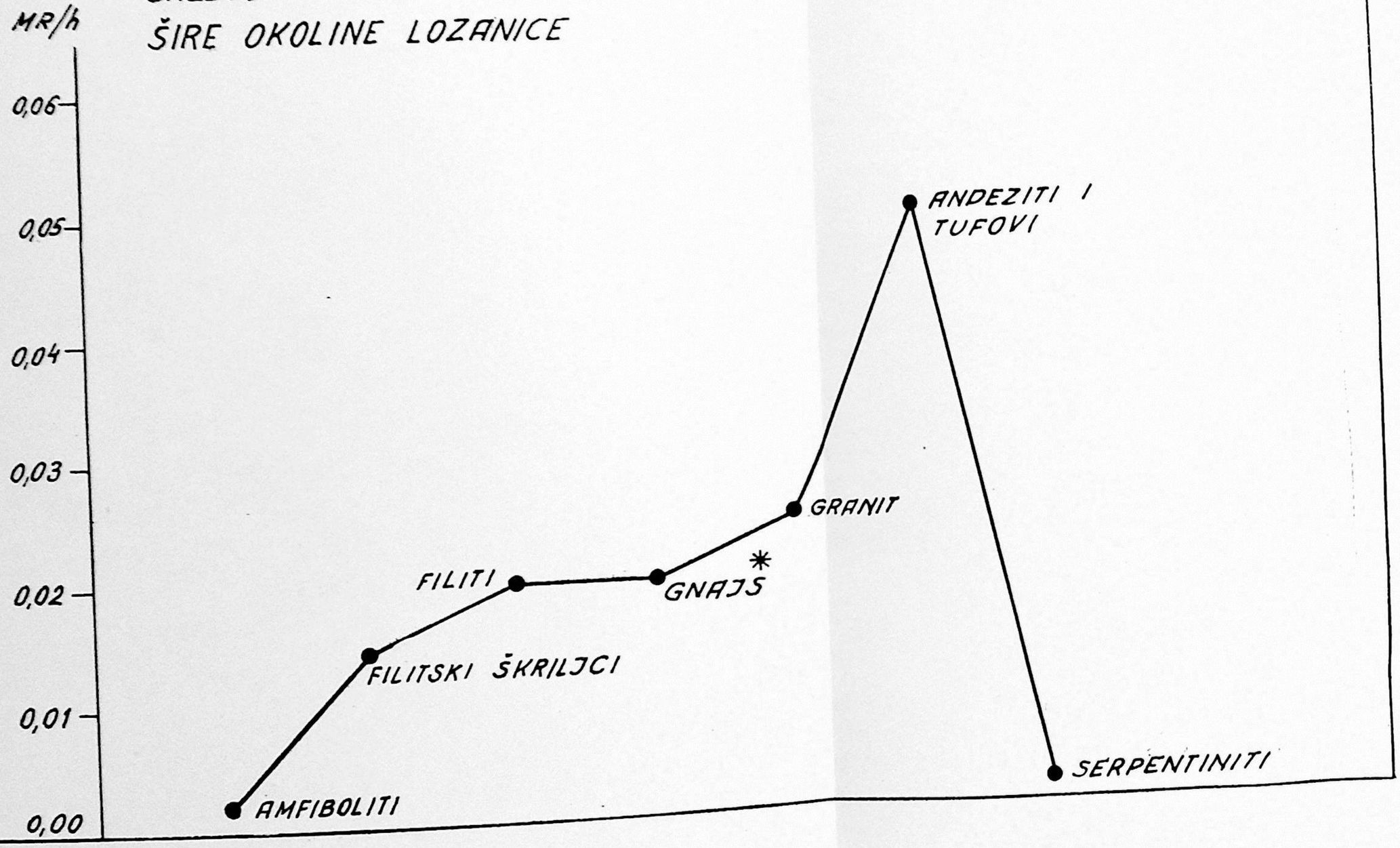
GEOLOGICAL MAP OF THE LOSANICA AREA (MACEDONIA)

LEGENDE:

1. Senonian marbles and limestones; 2. Turonian marbles, limestones, kalkschists, sericitic and phyllitic schists; 3. Phyllitic schists; 4. Phyllite; 5. Gneiss; 6. Amphibol rocks; 7. Serpentinite; 8. Granite; 9. Andesite; 10. Andesitic tuffs; ● Uranium occurences

Prilog 2

SREDNJE VREDNOSTI INTENZITETA RADIOAKTIVNOSTI STENA ŠIRE OKOLINE LOZANICE



* MUSKOVITSKI MIGMATIT GNAJS

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

M. D. DIMITRIJEVIĆ*

UDK: 551.243

TRANSPOZICIJA I PERMUTACIJA S-POVRŠINA

(sa 5 slika)

Među strukturnim fenomenima koji nastaju intenzivnim deformacijama stena poseban značaj ima *transpozicija s-površina,* kako je nazvana pojava koju je Sander (1911) opisao pod imenom »Umfaltung«.

Geologija koristi ogroman broj termina, od kojih su mnogi nedovoljno definisani i koriste se dosta slobodno. Mnogi termini su tokom vremena delimično menjali svoj sadržaj, što dovodi do nesporazuma i konfuzije. Iako ne tako mnogobrojna, postojeća literatura o transpoziciji već ukazuje na potrebu preciznijeg definisanja ovog termina, koji se ponekad koristi i za u suštini različite fenomene. Cilj ovog rada je stoga pokušaj detaljnijeg definisanja termina »transpozicija« i odvajanje pojava koje su slične ali bi ih iz ovog pojma trebalo izdvojiti. Ovo, naizgled akademsko, pitanje dobija sve veći značaj u doba intenzivnog ispitivanja paleozojskih terena koje se sada izvodi u našoj zemlji.

DEFINISANJE POJMA »TRANSPOZICIJA S-POVRŠINA«

Za definisanje pojma »transpozicija *s*-površina« i njegovo razgraničavanje od srodnih pojava od značaja su pre svega odgovori na sledeća pitanja, kako je to uostalom naglasio i Sander u svom izvornom radu:

1. Može li se transpozicijom smatrati oblikovanje po tipu egzogenih deformacija, pri kojem nove *s*-površine nastaju i preuzimaju ulogu morfološki najbolje razvijenih *s*-površina (S^1; M. Dimitrijević 1967)?
2. Na koji način dolazi do izmene orijentacije *s*-površina pri transpoziciji?
3. Od kolikog je značaja očuvanje ili prekid kontinuiteta *s*-površina za definisanje pojma »transpozicija«?

* Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

1. Promena ili stalnost vrste s-površina

Pri mehaničkom oblikovanju mogu postojeće *s*-površine zadobiti nove položaje, tako da posle formiranja novog sklopa one ostaju S^1 ali sa promenjenom orijentacijom. Mogućno je isto tako da u toku oblikovanja nastanu novi sistemi *s*-površina, koji u novom sklopu imaju osobine S^1, dok su *s*-površine pretcrteža delimično ili potpuno uništene. U oba slučaja novi sklop u određenom području posmatranja ima novu orijentaciju S^1, ali je razlika u tome što kod prvog slučaja genetski karakter S^1 ostaje isti, dok se u drugom slučaju menja.

Pojam »transpozicija« treba ograničiti isključivo na prvi slučaj, kada karakter *s*-površina ostaje isti i pre i posle oblikovanja, ali im se menja orijentacija. S a n d e r (1911, str. 305, 306) kaže: »Da der Name Clivage mit falsche Schieferung übersetzt wird, in diesem Falle aber bemerkenswerterweise im *grossen wie im kleinen das ursprüngliche s nur durch Teilbewegung umgestellt vorliegt* (podvukao B. S a n d e r), wird hier die Bezeichnung *Umfaltung* mit verschiedenem Faltenausmass vorgeschlagen. Die Fälle echten Clivages aber könnte man damit definieren, dass in solchen ein neues *s* das ältere schneidet«.

Slučaj izmene vrste najjače izraženih *s*-površina (S^1) posebno je značajan za litološki homogene pakete paleozojskih škriljaca, za smicanjem oblikovane kristalaste škriljce, a u m-područjima i za pakete laporaca i glinaca u flišnim serijama. Kada su *ss*-površine mehanički neaktivne, pri mehaničkom oblikovanju se u ovakvim stenama najčešće razvija klivaž aksijalne površine, koji preuzima ulogu preovlađujućih ili jedino vidljivih *s*-površina, dakle morfološki definisanih S^1. Ako takve stene u toku svoje dalje istorije budu metamorfisane, folijacija se po pravilu razvija po površinama klivaža. Prihvatanje folijacije ili S^1 uopšte kao ekvivalenta *ss* u takvim stenama dovodi, logično, do pogrešne interpretacije hronoloških odnosa, pogrešnog određivanja debljine i pogrešnog tumačenja odnosa prema susednim stenama ili litološkim jedinicama.

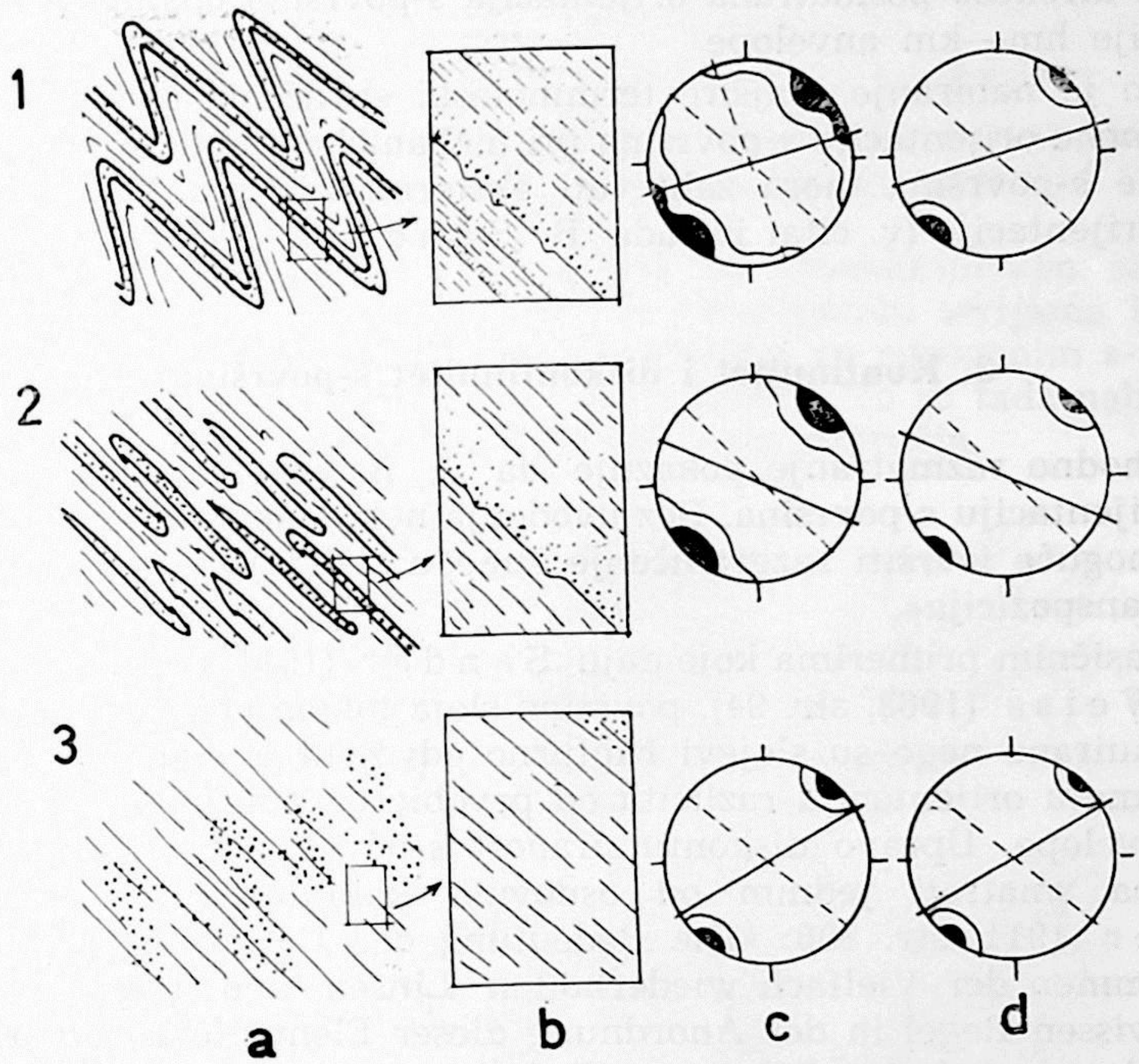
Za pojavu u kojoj egzogene *s*-površine nove orijentacije preuzimaju ulogu S^1 u novom sklopu predložen je ovde naziv *permutacija s-površina*. Termin »transpozicija« sačuvan je isključivo za oblikovanje u kome vrsta S^1 ostaje ista i pre i posle akta oblikovanja.

2. Način izmene položaja s-površina

Svako nabiranje predstavlja promenu orijentacije *s*-površina pretcrteža. Odstupanje od prvobitne orijentacije je najizrazitije u manjim područjima posmatranja (dm—hm); što se ide prema većim područjima posmatranja odstupanja su statistički manja, tako da u planetarnim razmerama odstupanje anvelope nabora od prvobitnog oblika postaje minimalno.

Odstupanje orijentacije anvelope nižeg reda od anvelope prvog višeg reda, kao i odstupanje orijentacije nabranih *s*-površina od orijentacije njihove anvelope zavisi u prvom redu od indeksa nabiranja. Ova veličina predstavlja odnos između amplitude i raspona nabora; amplituda je rastojanje anvelopa konstruisanih prema šarnirima sinformi i antiformi iste

s-površine, mereno po aksijalnoj površini upravno na osu, a raspon je dužina jednog punog nabora (sinforma + antiforma) merena po anvelopi upravno na osu nabora. Što je indeks nabiranja veći, kod nabora sa aksijalnim površinama upravnim na anvelopu razlike u orijentaciji *s*-površina



Sl. 1. — Mehanizmi promene orijentacije i tipa *s*-površina: (1) nabiranje, (2) transpozicija, (3) permutacija. Izgled km-područja (a), izgled m-područja (b), dijagram *s*-površina za km-područje (c) i dijagram *s*-površina za m-područje (d). Projekcijska ravan dijagrama je paralelna sa ravni crteža (a) i (b). Puna linija na dijagramu — trasa km-anvelope, isprekidana linija — trasa *s*-površine vidljiva na izdanku odnosno u m-području.

Fig. 1. — Mechanism of change in orientation and/or type of *s*-surfaces: (1) Folding, (2) Transposition, (3) Permutation. View of the km-domain (a), view of the m-domain (b), diagram of *s*-surfaces for the km-domain (c) and diagram of *s*-surfaces for the m-domain (d). Projection plane of the diagrams is parallel to the plane of the drawings (a) and (b). Full line — trace of the km-envelope; broken line — trace of *s*-surfaces noticeable at the outcrop, i.e. in m-domain.

i anvelope su veće, da bi kod izoklinih nabora dostigle 90°. Ovi odnosi se menjaju sa pojavom relativne vergence nabora (odstupanja položaja aksijalne površine nabora od normale na anvelopu) — izoklini nabori sa uglom relativne vergence 90° imaju krila paralelna sa anvelopom.

Ovo kratko ponavljanje poznatih činjenica pokazuje da

1. svako nabiranje dovodi do nove orijentacije konstantno definisanih *s*-površina, pri čemu je intenzitet promene orijentacije zavisan od veličine područja posmatranja,

2. veličina odstupanja orijentacije u jednom veličinskom području zavisi od indeksa nabiranja, oblika nabora i ugla relativne vergence nabora.

Poslednja postavka je naročito značajna za izoklino nabrana područja, u kojima direktno posmatrana orijentacija *s*-površina odstupa uveliko od orijentacije hm—km anvelope.

Pošto je nabiranje (najšire terminološki shvaćeno) osnovni mehanizam promene orijentacije *s*-površina pri mehaničkom oblikovanju, i transponovanje *s*-površina mora zahtevati eksternu rotaciju kao mehanizam izmene orijentacije (v. citat iz rada B. Sandera, 1911).

3. Kontinuitet i diskontinuitet s-površina

Prethodno razmatranje pokazuje da je nabiranje mehanizam koji menja orijentaciju *s*-površina. Bez uvođenja nekog dopunskog kriterija ne bi bilo moguće izvršiti razgraničenje između sadržaja pojmova »nabiranje« i »transpozicija«.

U klasičnim primerima koje daju Sander (1911, tab. II, 5) i Turner i Weiss (1963, str. 94), površine sloja tokom oblikovanja ne ostaju kontinuirane nego su slojevi rupturno odvojeni u segmente, koji kao jedinke imaju orijentaciju različitu od prvobitnog položaja sloja i orijentacije anvelope. Upravo diskontinuiranost *s*-površina i njima odvojenih tela treba smatrati jednim od osnovnih karakteristika transpozicije (Sander 1911, str. 306: »Die Bedeutung der Umfaltung für das Zustandekommen der Vielfach wiederholten Linsen und Lagen, ja sogar einer gewissen Regel in der Anordnung dieser Elemente liegt darin, dass die Umfaltung einfache differente Einlagen in einem fortgeschrittenen Stadium in Linsen zerlegt«). Svi slučajevi u kojima predeformacione *s*-površine ostaju kontinuirane i posle oblikovanja, pripadaju nabiranju kao kategoriji koja se razlikuje od transpozicije, iako se na terenu ponekad mogu vrlo teško razlikovati ova dva fenomena.

Definicija transpozicije i permutacije

Na osnovu navedenih kriterija mogu se dati sledeće definicije:

Transpozicija je način mehaničkog oblikovanja kod kojeg određene *s*-površine bivaju nabiranjem rotirane i odvojene u pojedinačne segmente, čija se orijentacija razlikuje od predeformacione kao i od orijentacije »anvelope« koja bi se dobila generalisanjem položaja skupa ovih pojedinačnih segmenata.

Permutacija je način mehaničkog oblikovanja kod kojeg egzogene *s*-površine (tj. površine stvorene samim oblikovanjem i u toku njega) postaju glavne planare novog sklopa (S^1), sa novom orijentacijom, dok su glavne predeformacione planare delom ili u potpunosti izbrisane oblikovanjem.

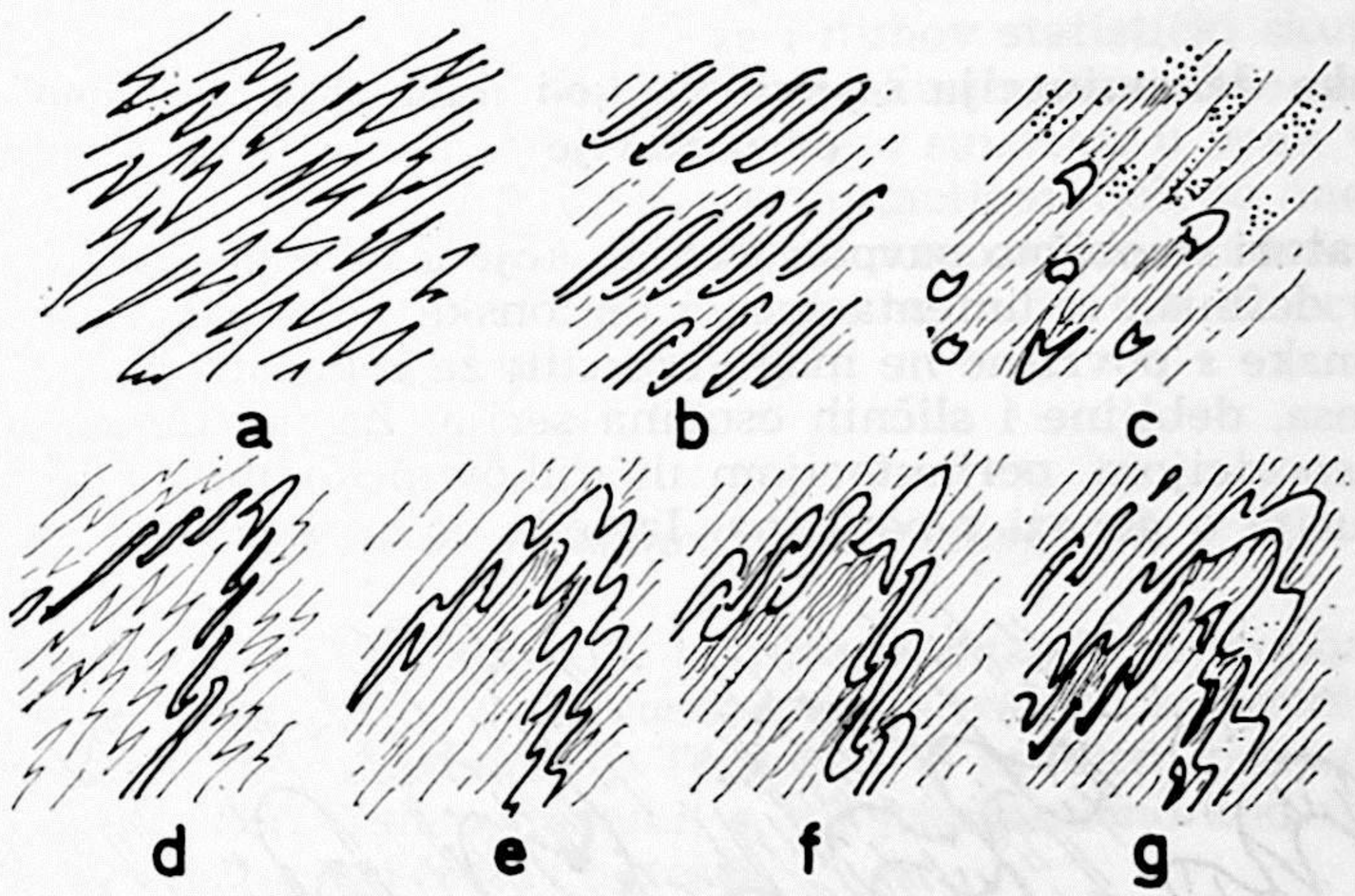
Kombinacije nabiranja, transpozicije i permutacije

Teoretski je moguće da u jednom stenskom kompleksu budu razvijeni:

1. samo nabiranje,
2. samo transpozicija,
3. samo permutacija i
4. kombinacija ovih pojava (1+2, 1+3, 2+3, 1+2+3).

Najčešći je prvi slučaj, zatim neka od varijanti četvrtog slučaja, dok je treći pretežno ograničen samo na manja veličinska područja. Drugi slučaj nikad ne nastupa u čistom obliku.

Transpozicija je česta u područjima sa monokliničnom simetrijom sklopa, u litološki i mehanički ritmično heterogenim serijama kod kojih je nabiranje savijanjem nastavljeno smicanjem po egzogenim *s*-površinama, paralelnim sa aksijalnim površinama nabora. To su tada nabori »sličnog tipa«, koji mogu homogeno zahvatiti veća područja.



Sl. 2. — Čisti i kombinovani tipovi promene orijentacije i tipa *s*-površina tokom mehaničkog oblikovanja: (a) nabiranje, (b) transpozicija, (c) permutacija, (d) nabiranje i transpozicija, (e) nabiranje i permutacija, (f) transpozicija i permutacija, (g) nabiranje, transpozicija i permutacija.

Fig. 2. — Pure and combined types of change in orientation and/or type of *s*-surfaces during mechanical deformation: (a) folding, (b) transposition, (c) permutation, (d) folding plus transposition, (e) folding plus permutation, (f) transposition plus permutation, (g) folding plus transposition plus permutation.

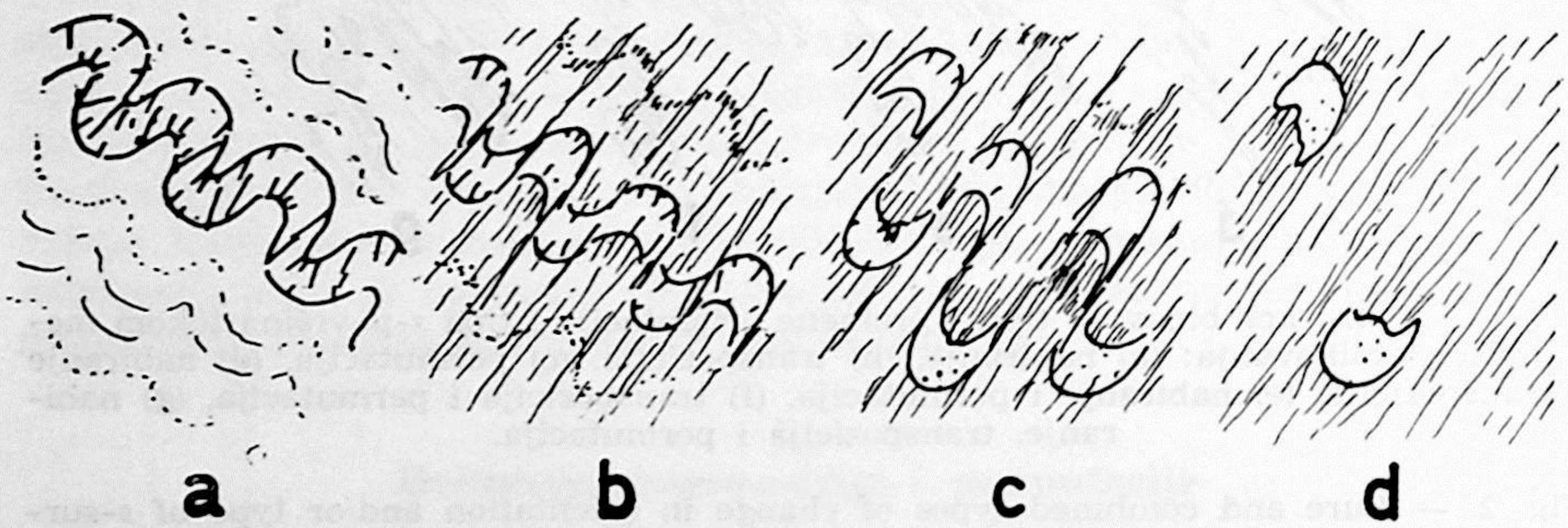
Permutacija je u prvom redu ograničena na litološki i mehanički homogene serije sa mehanički neaktivnim *ss*-površinama. U ritmički heterogenim serijama ona je uglavnom ograničena ili bar najbolje razvijena u šarnirima nabora. Oba ova slučaja su posebno važna (naročito prvi) za paleozojske »filitoidne« serije, u kojima se većinom — u odsustvu litoloških inhomogeniteta — zapaža samo jedan sistem *s*-površina nejasnog porekla. Zbog toga je permutacija često praktično značajnija od transpozicije u mnogim područjima naše zemlje.

Kombinacije nabiranja i transpozicije zavise od pojava razlika u lokalnom stresu i njegovom odnosu prema otpornosti stena na kidanje. Suštinske razlike između izoklinog nabiranja uz pojavu klivaža i transpozicije *s*-površina su samo kvantitativne prirode, i do kidanja inače kontinuiranih slojeva može doći i u okviru promene intenziteta i relativne orijentacije stresa (u odnosu na *s*-površine) unutar jednog dm- ili m-nabora.

Posebno su važne i česte kombinacije nabiranja i permutacije. U ritmično inhomogenim serijama fleksiono nabiranje karakteriše tzv. »kompetentne« slojeve, odnosno slojeve manje duktilnosti, a pojava klivaža »inkompetentne« odnosno slojeve veće duktilnosti. U debljim paketima duktilnijih stena bez izraženih *ss*-površina zapaža se samo klivaž kao jedini vidljivi *s*-sistem (u mnogim paleozojskim područjima on je jedini i meren, što je dovelo do vrlo konfuznih slika o sklopu). Kod jačeg dejstva stresa ova varijanta prelazi u kombinaciju transpozicije i permutacije, kao najkomplikovanije za dešifrovanje sklopa.

Genetska denominacija *s*-površina kod nabiranja, transpozicije i permutacije

U literaturi se obično navode osobine koje u tektonitima (posebno metamorfnim) definišu sedimentacione i tektonske *s*-površine, uz napomenu da se tektonske *s*-površine ne mogu koristiti za rekonstrukciju superpozicionih odnosa, debljine i sličnih osobina serija. Za mnoge serije sa izraženim transpozicijom, permutacijom ili njihovim kombinacijama vodi se, dalje, diskusija o genezi *s*-površina. Izgleda da se kod ovih razmatranja



Sl. 3. — Stadiji razvoja permutacije *s*-površina: primer iz paleozojskih škriljaca Drine, Duboki Potok.

Fig. 3. — Sequence of permutation of *s*-surfaces: an example from the Paleozoic of the Drina region, Yugoslavia.

ne obraća dovoljno pažnje na nužna ograničenja validnosti određenih definicija samo na okvire određenih veličinskih područja. Objašnjenje potrebe ovakvih ograničenja daje sledeći primer:

Neka je jedna serija izoklino nabrana ili ima transponovane *s*-površine. Ako nema novih faza nabiranja koje bi deformisale aksijalne površine u prvom slučaju odnosno novi *s*-sistem u drugom, geološka karta će

pokazivati ravnomeran pad *s*-površina sa istom orijentacijom za celo područje, a statistički dijagram ovih *s*-površina će imati jedan izometričan ili blago izdužen maksimum. Očigledno je da anvelopa može imati najrazličitije položaje u zoni (h0l) i da statistički pad očitan sa dijagrama i karte nema skoro nikakvu vrednost za stratigrafska razmatranja. Ako je u pitanju transpozicija, obično se zbog ovakvih osobina *s*-površine klasifikuju kao tektonske. Međutim, u području manjem od razmera krila nabora ili očuvanog segmenta transponovane slojevitosti, *s*-površine vidljive na izdanku su stvarne sedimentacione S i kod izoklinog nabiranja i kod transpozicije, što pokazuje da opservacije u manjim područjima posmatranja nisu uvek dovoljne za evaluaciju merenja pri sintezi sklopa većih područja (S a n d e r 1911, str. 306: »Ein schon vorhandenes *s* ist hier Vorbedingung. In demselben verlaufen die wesentlichen Teilbewegungen; es wird wohl umgestellt, nicht aber von einem neuen *s* geschnitten, sondern ausgearbeitet und bleibt erhalten«). U navedenom slučaju transponovanih *s*-površina uniformnog pada na većini izdanaka će se utvrditi njihova sedimentaciona geneza, što ne znači da se i njihov statistički skup može neposredno tretirati kao validan za stratigrafsku analizu. Ovo pokazuje, da se kao *s*-površine »tektonskog porekla« mogu smatrati u svim veličinskim područjima samo one koje su nastale permutacijom, dok su one kod nabiranja i transpozicije u manjim područjima posmatranja zadržale svoj karakter, ali se njihova statistička rezultanta ne može bez rezerve i posebnog tretmana primeniti za dalje analize.

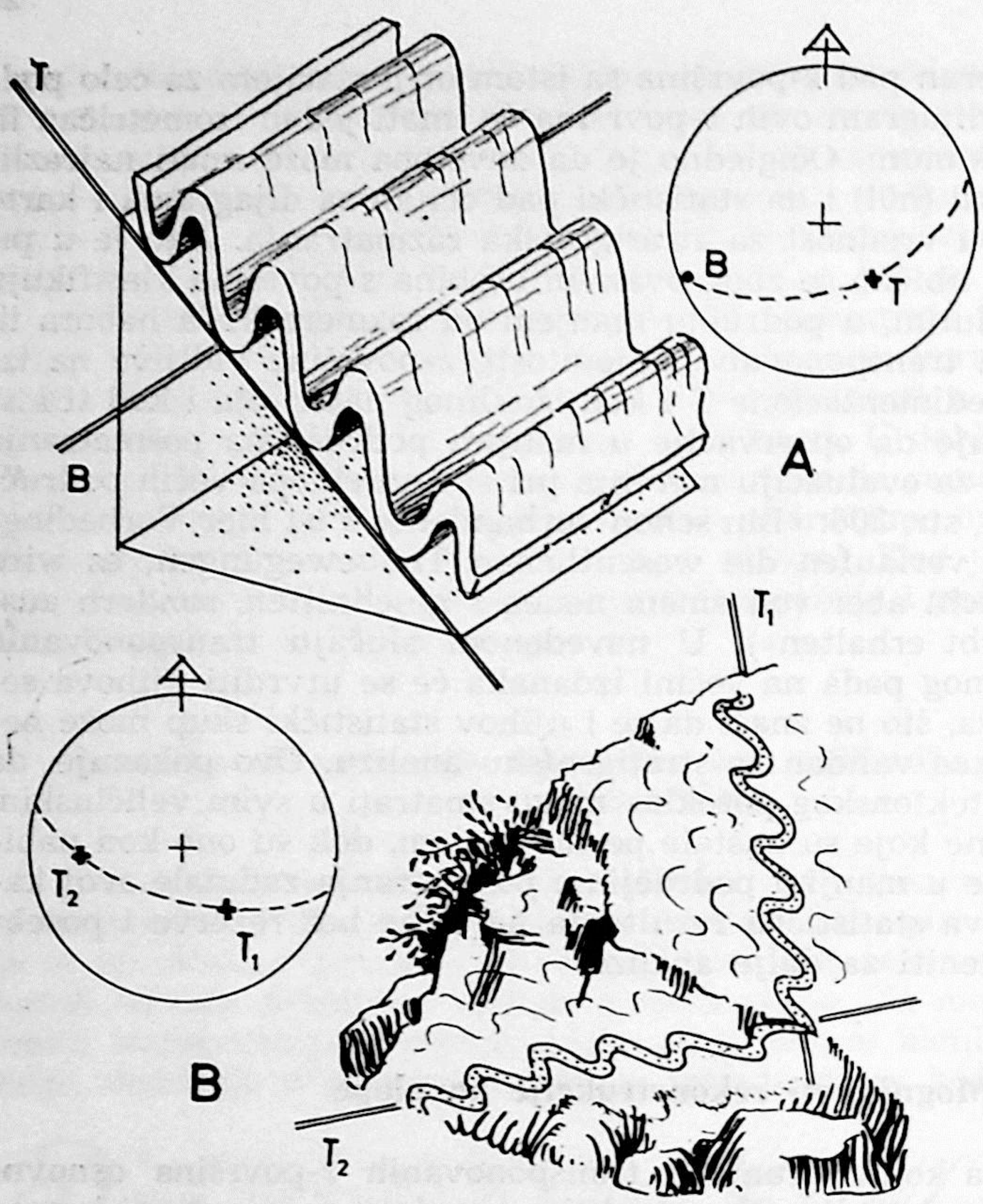
Mogućnosti rekonstrukcije anvelope

Očigledno je da kod nabranih i transponovanih *s*-površina osnovni sintetski problem predstavlja rekonstrukcija anvelopa *ss*-površina, jer samo one imaju stratigrafski značaj. Teoretski je problem podjednako rešiv i kod nabranih i kod transponovanih *s*, ali je praktično kod transpozicije ne samo daleko teži, nego često i nerešiv.

Najjednostavniji slučaj predstavljaju nabrane *s*-površine (bez obzira na indeks nabiranja), koje su dovoljno otkrivene da se može zapaziti više kompletnih nabora i izmeriti njihova osa. Rešenje pomoću Šmitove mreže je jednostavno: anvelopa prvog višeg reda predstavlja površinu definisanu svojom trasom na izdanku i osom nabora. Ukoliko ose nisu među sobom paralelne ili je serija prenabirana potrebne su dve dovoljno duge trase anvelope, čiji se elementi pada izmere, nanesu polovima na mrežu i kroz ova dva pola povuče trasa anvelope.

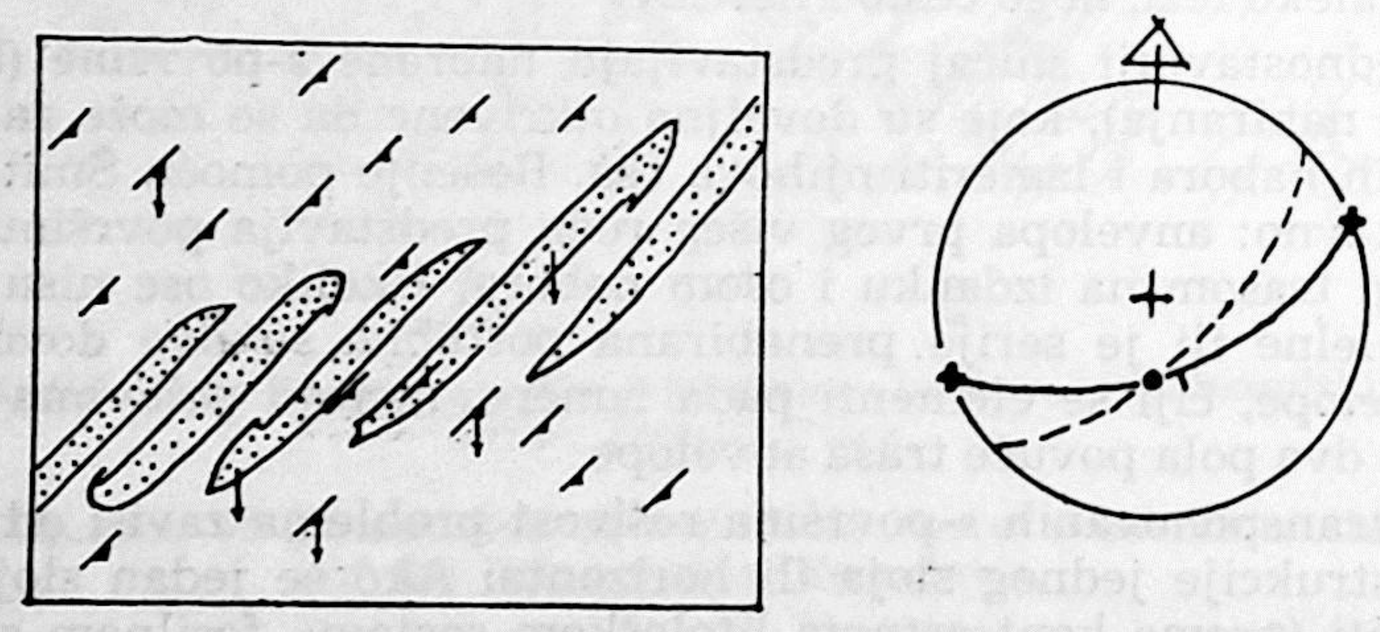
Kod transponovanih *s*-površina rešivost problema zavisi od mogućnosti rekonstrukcije jednog sloja ili horizonta. Ako se jedan sloj može rekonstruisati (prema kontrastnom litološkom sastavu, fosilnom sadržaju ili nekoj drugoj osobini), dobija se jedna trasa njegove anvelope koja predstavlja srednji položaj odgovarajućih segmenata sloja. Ova trasa predstavlja jednu pravu, a izduženje segmenata drugu, te se pad anvelope dobija pomoću Šmitove mreže kao u prethodnom slučaju.

Najteži slučaj predstavlja, svakako, permutacija *s*-površina; u litološki potpuno homogenim paketima rekonstrukcija anvelope prvobitnih *s*-površina je nemoguća. Jedini izlaz u ovakvim prilikama predstavlja si-



Sl. 4. — Rekonstrukcija anvelope: (a) pomoću trase i ose nabora, (b) pomoću dve trase anvelope.

Fig. 4. — Reconstruction of the envelope: (a) by means of the trace and fold axis, (b) by means of two traces of the envelope.



Sl. 5. — Idealizovana karta kompleksa sa transponovanim *s*-površinama. Levo: karta. Desno: generalisani dijagram. Puna linija — anvelopa, isprekidana linija — merljive *s*-površine, krstići — horizontalna trasa anvelope (sa karte), pun krug — pol lineacije paralelne sa izduženjem sočiva.

Fig. 5. — Idealized map of a complex with transposed s-surfaces. Left: map. Right: generalized diagram. Full line — envelope; broken line — measurable *s*-surfaces; crosses — horizontal trace of the envelope, from the map; full circle — pole of the lineation, parallel to the elongation of the lenses.

stematsko ispitivanje mogućih razlika (litoloških, faunističkih i drugih) u hm-km razmerama, koje će nezavisno od položaja merljivih *s*-površina pokazati pružanje anvelope. U područjima sa jednokratnim ubiranjem položaj lineacije obično omogućava da se na već opisani način rekonstruiše prostorna orijentacija anvelope.

(Predato za štampu septembra 1968. god.)

LITERATURA

Dimitrijević M., 1966: — O sistematici planarnih i linearnih sklopova. Referati VI savetovanja, Ohrid, deo I.

Dimitrijević M., 1967: — Sur la systématique des surfaces S et des éléments linéaires L dans les tectonites. Bull. Soc. géol. de France, (7), IX.

Sander B., 1911: — Ueber Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gefüge in Gesteinen. Tschermaks min. petr. Mitt., 30.

Turner F. J., Weiss L. E., 1963: — Structural analysis of metamorphic tectonites. McGraw-Hill.

Summary

M. D. DIMITRIJEVIĆ*

TRANSPOSITION AND PERMUTATION OF *S*-SURFACES

The mechanical deformation of rocks creates in some cases complicated structural phenomena, which make the morphological and genetic analysis of tectonites very difficult. In their excellent handbook Turner and Weiss (1963) gave attention to *transposition* (Sander, 1911 — »Umfaltung«) as a mechanism of the change in position of *s*-surfaces, and supplied exemples of this phenomenon as described in the literature.

Geology uses an enormous numbers of terms, including those that are insufficiently defined and have a vague usage. In a great number of cases specific terms partially change their meaning during the time, what necessarily leads to confusion and misunderstanding. The existing, though not so ample literature concerning transposition, already shows the necessity of a more precise definition of this term, because it also covers phenomena which are essentially different in the usage of some authors. The aim of this paper is therefore an attempt to define in greater detail the term »transposition«, and to separate phenomena which are similar but are not to be covered by that term.

DEFINITION OF THE TERM »TRANSPOSITION«

To define the term »transposition of *s*-surfaces« and to fix its meaning, the answers to the following questions are most important, as also stressed by Sander in his original work:

(1) Can a deformation after the type of exogeneous deformation, in which new *s*-surfaces originate and take over the role of morphologically best developped *s*-surfaces (S^1, Dimitrijević 1967) be considered transposition?

* Faculty of Mining and Geology, Beograd.

(2) What is the mechanism of the change in orientation of *s*-surfaces during transposition?
(3) What is the importance of preservation or break of continuity of *s*-surfaces in defining the term »transposition of *s*-surfaces«?

(I) Change or conservation of s-surface type

During the mechanical deformation the existing *s*-surfaces can receive a new position, so that after the formation of a new fabric they remain morphologically defined S^1, but with a changed orientation. It is also possible that in the course of deformation new *s*-surface systems generate, which in the newly-formed fabric have the characteristics of S^1, whilst *s*-surfaces of the preexisting fabric are partially or completely destroyed. In both cases the new fabric in a specified scale-domain has a new orientation of the main *s*-surfaces (S^1), but the difference is that in the first case the type of S^1 remains the same, whilst in the second case it changes.

The term »transposition« has to be restricted only to the first case, when the character of the *s*-surfaces remains the same after the deformation, and only its orientation changes (see also Sander 1911, pp. 305, 306).

The change in type of the morphologically best developed *s*-surfaces is of special importance for lithologically homogeneous series of Paleozoic slates, for crystalline schists deformed by shear, and in m-areas also for marls and shales in Flysch series. When *ss*-surfaces are mechanically inactive, an axial-surface cleavage generates most frequently in such rocks during the mechanical deformation. It takes over the role of the prevailing and/or solely visible surfaces, i.e. S^1. If such rocks in the course of their further history become metamorphosed, the foliation (defined by planparallel orientation of the mineral elements of the fabric) is, as a rule, developed parallel to the cleavage surfaces. The acceptance of foliation or S^1 in general as an equivalent of *ss* in such rocks brings, logically enough, to the incorrect interpretation of chronological relations, wrong estimation of thickness and erroneous explanation of connections with adjacent rocks or lithological units.

For this phenomenon in which exogeneous *s*-surfaces with a new orientation take over the role of S^1 in the newly-formed fabric, the term *permutation of s-surfaces* is here proposed. The term »transposition« is preserved solely for deformation in which the type of S^1 remains the same before and after the deformation.

(II) Mechanism of the change in orientation of s-surfaces

Each folding represents a change in orientation of *s*-surfaces of the pre-deformation fabric. The deviation from original orientation is the most conspicuous in small domains (dm-hm); approaching greater scale-domains the deviations are statistically smaller, and in planetary scale the deviation of the envelope from the original shape becomes minimal.

The deviation of the lower-order envelope from the envelope of the next higher order, as well as the deviation of orientation of folded *s*-surfaces from the orientation of their envelope depends primarily on the *index of folding.* This value represents the ratio *amplitude/fold-width;* the amplitude is the shortest distance of the envelopes constructed on hinges of synforms and antiforms of the same *s*-surface, measured along the axial surface of the fold, and fold-width is the width of a complete fold (synform plus antiform) measured along the envelope normal to the fold axis. As the folding index increases, in folds with axial surfaces normal to the envelope the deviation in orientation of *s*-surfaces and envelope increases too, so that in isoclynal folds it can reach 90°. These relations change with appearance of the *relative vergenz* i.e. deviation of orientation of the axial plane from the normal to the envelope: isoclynal folds with the angle of relative vergenz $=90^{\circ}$ have the limbs parallel to the envelope.

This short repetition of well-known facts shows that

(I) every folding brings about a new orientation of constantly defined *s*-surfaces, the intensity of the orientation change depending on the scale of the domain,

(II) difference of orientation of the envelope and *ss* in lower order domains depends on the index of folding, form of the folds and the angle of relative vergenz.

Last statement is especially significant for isoclinally folded regions, where directly observable orientation of *s*-surfaces can greatly deflect from the orientation of the hm-km envelope.

As folding (in the broadest sense) represents the basic mechanism of the change in orientation of *s*-surfaces during mechanical deformation, the transposition of *s*-surfaces necessarily requires the external rotation as a mechanism of the orientation change (see also Sander, 1911).

(III) Continuity or discontinuity of s-surfaces

The preceeding considerations show that folding represents a mechanism of orientation change of *s*-surfaces. Without introducing an additional criterion it would not be possible to fix the difference between the meaning of the terms »folding« and »transposition«.

In classical examples given by Sander (1911, tab. II, 5) and Turner and Weiss (1963, p. 94) the bedding surfaces do not remain continuous during the deformation, but are rupturally separated into segments. As units, these segments have an orientation which deflects from the original orientation of the bed as well as of the envelope. It is this discontinuity of *s*-surfaces and beds separated by them, that is to be considered as one of basic characteristics of transposition (see also Sander 1911, p. 306). All cases in which the predeformational *s*-surfaces remain continuous after deformation belong to the folding, which differs form transposition, even if these two phenomena are sometimes very difficult to distinguish in the field.

Definition of transposition and permutation

From these criteria the following definitions can be drawn:
Transposition is a mode of mechanical deformation where specific *s*-surfaces are rotated by folding and separated into individual segments, the orientation of which differs from the pre-deformational orientation as well as from the orientation of the »envelope« constructed by generalisation of the position of the belt of these individual segments.

Permutation is the mode of mechanical deformation where exogeneous *s*-surfaces (i.e. surfaces created by and during the deformation) turn to be the most important planar elements of the new fabric, with a new orientation, while the pre-deformational planar elements are partially or completelly destroyed by the deformation.

Combination of folding, transposition and permutation

Theoretically, in rock complexes the following phenomena can be developed:

(I) folding,
(II) transposition,
(III) permutation,
(IV) combinations of these phenomena (1+2, 1+3, 2+3, 1+2+3).

The first is the most frequent case; next, one of the variants of the fourth case, while the third case is predominantly restricted to the smaller domains. The second case never occurs in pure form.

Transposition is frequent in areas with monoclinic symmetry of fabric, in lithologically and mechanically rythmic heterogeneous series, where flexural folding was continued by shearing along *s*-surfaces parallel to the axial surface. These are »similar folds«, which can be penetrative in broad areas.

Permutation is primarily restricted to lithologically and mechanically homogeneous series with mechanically inactive *ss*-surfaces. In rythmicaly heterogeneous series it is normally limited to or at least best developped in fold hinges and in more ductile strata. Both cases (of homogeneous and of heterogeneous series) are particularly important, especially the first one, for Paleozoic »phyllitoid« series, where mostly — in the absence of lithological inhomogeneities — only one system of *s*-surfaces of unclear origin is to be seen. Therefore in practice permutation is very often more important than transposition.

The combinations of folding and transposition depend on the presence of differences in local stress and its relation toward the tension and shearing strength of rocks. Fundamental differences between isoclinal folding with cleavage and transposition of *s*-surfaces are small. Separation of formerly continuous beds can also occur as a result of the change in intensity and relative orientation of stress-axes (in respect to *s*-surfaces) in the area of one dm- or m-fold.

Combinations of folding and permutation of *s*-surfaces are also frequent. In rythmically inhomogeneous series, flexural folding characterises »competent« beds, and the presence of cleavage characterises the »incom-

petent« beds. In thicker sequences of »incompetent« i.e. more ductile rocks without conspicuous *ss*-surfaces, only cleavage is noticeable as the single system of *s*-surfaces. With an increase in stress action, this variant changes into the combination of transposition and permutation as the most complicated case for deciphering the properties of the fabric.

Genetic significance of s-surfaces by folding, transposition and permutation

Characteristics of sedimentary and tectonic *s*-surfaces in tectonites (especially metamorphic) are frequently discussed in the literature. It is pointed out that tectonic *s*-surfaces can not serve for reconstruction of superposition, thickness, and similar stratigraphic features. For many series with transposition, permutation or their combinations, the genetic significance of *s*-surfaces has been examined. It seems that in these speculations insufficient attention has been given that the conclusion on the genesis of *s*-surfaces made from observations of one scale-domain need not necessarily hold for all other scale-domains. The following example can explain the need for these restrictions.

Let us take an isoclinaly folded series, or one with transposed *s*-surfaces. If the younger folding phases, which would deform axial surfaces in the first or the new *s* in the second case, are absent, the geological map will show a uniform dip of the same orientation for the whole area, and the statistic diagram of *s*-surfaces will have an isometric or slightly elongated maximum. The envelope can, obviously, have all possible orientations in the (h0l) zone, and the »statistic dip« as read from the map and diagram has allmost no validity for stratigraphic considerations. If transposition is involved, *s*-surfaces are usually classed as tectonic. But in domains smaller than the fold limbs or in preserved segments of the transposed bedding, *s*-surfaces visible at the outcrop are really sedimentary *s*-surfaces by isoclinal folding as well as by transposition. That shows that observations in the outcrop domain are not always sufficient for the evaluation of field measurements (see also Sander 1911, p. 306). In the case of transposed *s*-surfaces of uniform dip the outcrop will show their sedimentary genesis, which does not signify that their statistical sum can also be treated as directly valid for stratigraphic analysis. This shows that only those *s*-surfaces which are generated by permutation or shearing can be treated as »tectonic« ones. In folding and transposition the *s*-surfaces retain their character in smaller domains and only their statistic resultant can not be applied without caution in further analyses. Of course, by transposition these sedimentary *s* are accompanied with tectonic, exogeneous surfaces of shear.

The possibilities of envelope reconstruction

It is obvious that the reconstruction of *ss*-envelope represents the main problem in areas with folded and transposed *s*-surfaces. Only this enveloping surface is stratigraphically valid. Theoretically, this problem can equally be solved for folded and transposed *s*-surfaces, but in transposition it is not only much more difficult, but frequently also impossible

to solve in practice. Folded *s*-surfaces, which are sufficiently exposed so that a series of complete folds can be seen and their axes measured, is the simplest case. The solution by means of the Schmidt's net is simple: the envelope represents a plane defined by its trace visible in an outcrop and by the fold axis. If the fold axes are not parallel to one another, or the series is refolded, two sufficiently long traces of the envelope are needed. Their dip elements must be measured, plotted by poles on the net, and the trace of the envelope drawn through these poles.

In transposed *s*-surfaces the solution of the problem depends on the possibility to reconstruct a bed or horizon. If one layer can be reconstructed (on the basis of contrasted lithological composition, fossil contents, or any other feature), the mean position of the corresponding layer segments presents one trace of the envelope. One straight line is secured by this trace, and the other one by elongation of the segments. The dip of the envelope can be obtained by means of the Schmidt's net as in the case above.

Permutation of *s*-surfaces is definitely the most difficult case; in lithologically homogeneous series the reconstruction of original *s*-surfaces is impossible. The only expedient is a systematic examination of possible differences (lithology, colour, fossils . . .) in Dm-km scale, which indipendently of the orientation of measurable *s*-surfaces will show the strike and position of the envelope. In areas without refolding the position of lineation along with the above information may secure the reconstruction of the space orientation of envelope, by the method already shown.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

V. VUJANOVIĆ
S. VIŠIĆ
M. TEOFILOVIĆ

UDK=553.495 (497.17)

BELASICA
GEOLOŠKO-PETROLOŠKE KARAKTERISTIKE I POJAVE ORUDNJENJA URANA SA OSVRTOM NA NJIHOVU GENEZU

(sa 11 slika, 1 tabelom i 1 kartom)

Oblast planine Belasice bila je predmet dugogodišnjih ispitivanja i istraživanja na uran, a rezultati ovih dati su ukratko u ovom članku.

Planina Belasica nalazi se na krajnjem JI delu teritorije Jugoslavije i to u graničnom prostoru Srpsko-makedonske mase i Unutrašnjeg dinarskog pojasa, odnosno »Vardarske zone.«

Planinu Belasicu ne karakteriše složena tektonska građa u smislu postojanja navlaka, kraljušti i sl., niti ona predstavlja područje granične linije između Srpsko-makedonske mase i »Vardarske zone«.

Oblast je izgrađena od kristalastih škriljaca i magmatskih stena. Od kristalastih škriljaca prisutni su amfibolski, biotitski i okcasti gnajsevi, amfiboliti, filitični škriljci, filiti, hloritošisti, hloritsko-biotitski, hloritsko-epidotski i kalcijsko-silicijski škriljci. Magmatske stene su predstavljene granitoidima, riolitima i mikrodioritima, koje prate apliti, kvarcne i kvarcno-feldspatske žice. U vidu manjih proboja javljaju se i serpentiniti, a u jednom delu oblasti i karbonatiti.

Široko je rasprostranjena alkalna metasomatoza kristalaste serije i to najviše feldspatizacija i silifikacija. Ona je pogodila i pojedine magmatske stene, tj. granite i riolite. Najstarija metasomatoza (Kaledonska?), dovela je do stvaranja gnajseva, koji su od strane nekih autora bili određeni kao orto-gnajsevi. Ovi gnajsevi su stvarani pretežno feldspatizacijom škriljaca i mikašista. Iza navedene metasomatoze, dolazi mlađa, koja je dovela do stvaranja granitoidnog masiva Belasice. Ovde se više ne radi o alkalnom frontu, već o metasomatskom utiskivanju granitoida u okolnu kristalistu seriju. Moguće je da je granitoidni masiv Belasice stvaran u Variscijskoj epohi, a najkasnije u rano alpskoj. Plutonizam koji je doveo do stvaranja granitoida, karakteriše se i alkalnom metasomatozom okolnih stena, uključujući i riolite. Najmlađa alkalna metasomatoza, alpske starosti, pretežno je izražena feldspatizacijom i ona nije zahvatila samo okolne stene već i granitoide Belasice, a takođe je dovela i do stvaranja »granit-porfira« na račun riolita. Ovu metasomatozu karakterišu ružičasti feldspati, koji su široko rasprostranjeni kako u granitskom masivu, tako i u riolitima. Verovatno najmlađe žilice granita i žice riolita stoje u genetskoj vezi sa ovom najmlađom alkalnom metasomatozom, odnosno plutonskom akcijom, koja je izazvala ovu metasomatozu.

Regionalnim, poludetaljnim i detaljnim geološko-geofizičkim ispitivanjima u reonu Belasice otkrivene su brojne pojave mineralizacija i orudnjenja urana. Većina se nalazi u zoni feldspatiziranih i škriljavih riolita, pa se stoga ova zona u pogledu uranonosnosti može zasada smatrati i interesantnijom. Rudarskim i istražnim radovima i bušenjem na lokalnostima Đupski Poroj, Bizava Ritka i Kara Taš utvrđeno

je da se najkvalitetnija orudnjenja pojavljuju u zonama rasedanja. Većinom su vezana za rasedni, trošni, glinoviti materijal, ili za čvršće sive i crne žice rasedne gline. Orudnjenja su veoma neravnomerna, a rudna tela nepravilnih oblika i malih dimenzija. Sadržaji urana su većinom ispod 500, ređe između 500 i 1500 gr/t. Moćnost orudnjenog materijala dostiže najviše do 1 m. S obzirom da su se rudarski istražni radovi i bušenja uglavnom odvijali u zoni oksidacije i naknadne preraspodele urana, sadašnji stepen istraženosti pojava orudnjenja urana na Belasici je takav, da se jedino može govoriti o onim pokazateljima kvaliteta orudnjenja, koji su karakteristični za prostore intenzivne migracije urana i njegove redistribucije.

Mada se, pored uranovih, u opisanoj oblasti javlja niz pojava drugih metala kao Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Au i dr., u ovom radu su prikazani samo rezultati ispitivanja i istraživanja uranovih pojava. Međutim, zbog nedovoljne istraženosti, nije zasada moguće dati konačan sud u pogledu metalogenije urana. Ipak je bilo moguće utvrditi postojanje dva osnovna tipa uranovih mineralizacija i to: a) Hidrotermalne pojave urana sa radioaktivnim fluoritom, hematitom, piritom, kvarcom, kalcitom i sideritom (Kara Taš); urano-sulfidne pojave sa pehblendom i sulfidima Pb, Zn, Bi, Cu (Bizava Ritka); urano-sulfidne pojave sa pehblendom i sulfidima Pb, Zn, Bi, Cu i molibdenitom (Đupski Poroj) i b) descedentne pojave sa radioaktivnim limonitom, autunitom, metatorbernitom, uranocircitom, uranofanom i dr., ređe još i trošnom, nečistom, pehblendom.

Svi gornji rezultati ukazuju da dalja istraživanja na uran treba usmeriti na otkrivanje primarnih rudnih tela, na koji način bi se tačno izdvojile čisto descedentne od primarnih uranovih mineralizacija, koje su u gornjim nivoima bile podvrgnute procesima oksidacije.

UVOD

Namera ovog rada je da sintetički prikaže osnovne rezultate ispitivanja i istraživanja urana u oblasti planine Belasice, uz kratak osvrt na pojave urana u oblasti Pljačkovice. Prospekciono-istražne radove izvodio je Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina u Beogradu.

Kako su istraživanja na uran obuhvaćena geološko-strukturnim, geofizičkim, geohemijskim, petrografsko-petrološkim i minerogenetskim proučavanjima, kao i rudarskim istražnim radovima i bušenjem, a posebno s obzirom na činjenicu da, prema objavljenoj literaturi, ovoj značajnoj oblasti nije dosada posvećena pažnja koju ona zaslužuje, autori su smatrali da bi bilo vrlo korisno prikazati sve navedene rezultate kako bi ih stavili na uvid širokoj stručnoj javnosti.

U ovim ispitivanjima i istraživanjima učestvovao je u jednom dužem periodu veći broj stručnjaka Instituta o čemu, između ostalog, svedoči i priložena literatura. Stoga je praktično nemoguće navoditi svakog pojedinog učesnika, zbog čega ćemo se ovde ukratko osvrnuti samo na pojedince koji su svojim radom mnogo doprineli da se određeni problemi u opisanom terenu reše ili bar otvore.

Pored autora, u izvođenju prospekciono-istražnih radova kao i u odgovarajućim laboratorijskim ispitivanjima učestvovali su još: Geološko kartiranje: M. Jakovljević, N. Mihailović-Vlajić, Lj. Vuković, V. Četković, D. Vulović i dr. Petrografsko-petrološka proučavanja: N. Mihailović--Vlajić, S. Cvetić, S. Divljan, D. Pešić i M. Pavlović. Geološko-strukturna izučavanja: B. Sikošek i A. Antonović. Geohemijska ispitivanja: M. Arsenijević i V. Ćirić. Geofizička ispitivanja: R. Nedimović, M. Petrović, V. Simić, N. Vukšić, N. Miladinović, A. Pavlović i dr. Rudarski istražni ra-

dovi i bušenja: D. Vulović, M. Obrenović, Đ. Vučićević, V. Jokanović i dr. Laboratorijska ispitivanja: D. Radusinović, M. Vukasović, G. Deleon, S. Hadži-Popović i dr. Genetska proučavanja: M. Ristić i D. Radusinović.

Svi rezultati koji se ovde iznose baziraju na materijalu koji je registrovan u Fondu Instituta zaključno sa 1963. godinom, kada je urađena studija regiona Belasica—Pljačkovica od strane A. Antonovića, V. Vujanovića i S. Višića.

Pored stručnjaka Instituta i drugi autori su se bavili pojedinim geološkim problemima u opisanoj oblasti. Sav objavljeni materijal, ukoliko je sadržavao nove, tj. nepoznate podatke, prikazan je u ovom radu.

Do prvih otkrića anomalija radioaktivnosti na Belasici došlo je neposredno posle drugog svetskog rata, pa i prva istraživanja na uran datiraju od tog perioda. Kako je Institut tada bio tek počeo da se formira, ova istraživanja su imala sasvim preliminarni karakter. I docnijih godina, kada su postala intenzivnija ona nisu vršena na današnjem nivou, što je sasvim prirodno kada se uzme u obzir da je reč o ustanovi koja je kod nas prvi put stvarana i to od kadra koji je tek trebalo da stiče iskustva. Paralelno sa razvijanjem Instituta i osposobljavanjem kadra podizan je i opšti nivo primene pojedinih metoda istraživanja i ispitivanja, pa su prospekciono-istražni radovi obnavljani u nekoliko navrata, na nekim lokalnostima sve do 1963. godine.

U periodu od 1948—1955. godine na ispitivanom terenu vršena su pre svega regionalna ispitivanja sa uporednom primenom gama-beta metode, kao i ispitivanja šlihova. U to vreme otkrivene su i pojave urana Đupski Poroj, Bizava Ritka i dr. Na nekim od njih izvođeni su rudarski istražni radovi još 1951. godine, ali su oni bili nedovoljni. Regionalnom prospekcijom u tom periodu obuhvaćena je cela oblast, a pojedina područja više puta.

Na osnovu podataka regionalne radiometrijske prospekcije i geološkog kartiranja u okolini Strumice su tokom 1954—1955. godine izvođena poludetaljna geološko-geofizička istraživanja i izdvojene oblasti za detaljnija ispitivanja i istraživanja (Đupski Poroj, Široki do, Bizava Ritka i dr.). U toku 1956. godine još jednom je područje Belasice bilo pokriveno regionalnom gama-beta prospekcijom, uporedo sa geološkim kartiranjem. Iste godine otpočelo je izvođenje rudarskih istražnih radova i bušenje na lokalnostima Đupski Poroj i Bizava Ritka. Rudarski radovi nastavljeni su zatim sve do 1958. godine.

Regionalnom radiometrijskom prospekcijom u toku 1956. godine na Belasici je otkriveno nekoliko pojava sa uranovom mineralizacijom koje ranije nisu bile uočene i na nekim od njih su paralelno vršena detaljnija istraživanja. Godine 1959. na istom prostoru je vršena hidrogeohemijska i aeroprospekcija, a istovremeno je nastavljeno sa proverom pojava otkrivenih 1956. godine. Uporedo sa ovim vršena je i poludetaljna prospekcija na nekim delovima Belasice. Najobimnija istraživanja vršena su na lokalnosti Kara Taš, uključujući istražne rudarske radove i bušenja, koja se obustavljaju 1960. godine, kada se uglavnom i okončava period veće aktivnosti na istraživanju urana u ovoj oblasti.

GEOLOŠKI SASTAV

Prema prostornom rasporedu na ovom području se mogu uočiti tri jasno izdvojena pojasa (3).

I. Stene visokog kristaliniteta i granit, između Strumičkog polja i najviših vrhova Belasice;

II. Porfirske škrijave stene između Strumice i Dojranskog jezera;

III. Škriljci niskog kristaliniteta zapadno od prethodnog pojasa.

Opis pojedinih članova dat je prema klasičnoj petrografskoj podeli, bez obzira na prostorni raspored, na osnovu postojeće literature i dokumentacije.

Kristalasti škriljci

Najstariji litološki članovi kristalaste serije, prema superpoziciji, jesu amfibolski, biotitski i okcasti gnajsevi, u koje se utisnuo granit. Oni zauzimaju istočni deo Belasice.

Amfibolski gnajsevi su najdublji članovi kristalaste serije i javljaju se u vidu manjih zona, pretežno uz granite. Ove zone najčešće imaju pravac pružanja severozapad-jugoistok. To su sitnozrne stene, tamnozelene boje, uglavnom sastavljene iz plagioklasa, ortoklasa, amfibola i kvarca. Verovatno se radi o bivšim gabrovima.

Biotitski gnajsevi leže preko amfibolskih, a javljaju se, počev od istočnog oboda granitskog masiva, pa sve do s. Kunarene, na bugarskoj granici. Stene su sitnozrne i jako škriljave, a glavni sastojci su im kvarc, biotit i feldspat (ortoklas, albit, andezin). Svi feldspati su u velikoj meri sericitisani.

Okcasti gnajsevi se javljaju u vidu jedne manje zone između s. Draževa i bugarske granice i to u biotitskim gnajsevima. Prema N. Mihailović-Vlaić, okcasti ganjsevi predstavljaju produkte feldspatizacije, zbog čega se znatan deo feldspata javlja u vidu porfiroblasta. Ovi porfiroblasti predstavljeni su mikroklinom, dok je ostali deo stene uglavnom izgrađen iz albita, kvarca, mikroklina, biotita i muskovita.

Amfiboliti su sasvim krupnozrne stene, tamnozelene boje, ili mrkaste, ako su raspadnuti. Uglavnom se javljaju između Strumice i Dojranskog jezera i to u vidu manje ili više izduženih masica ili zona, koje leže u filitima, nedaleko od kontakta sa riolitima. U istočnom delu terena javljaju se uglavnom u vidu jedne manje zone koja leži u granitu. Prema N. Mihailović-Vlajić, amfiboliti ustvari predstavljaju regionalno-metamorfno izmenjene gabrove. Ovaj autor takođe navodi da se u amfibolitima mogu takođe sresti i dioritične partije, u kojima je plagioklas predstavljen andezinom. Ove partije, prema istom autoru, nastale su usled uzajamnog dejstva granita i amfibolita (hibridizacija).

Filitični škriljci javljaju se na krajnjem zapadnom delu ispitivanog terena. Sive su, tamnosive i zelenkaste boje, pločasti do škriljavi i pretežno svilastog sjaja. Prema N. Mihailović-Vlajić (23, 24) pravih filita ima vrlo malo, pošto se pretežno radi o hloritošistima i drugim škriljcima, manje ili više bogatim u biotitu.

Filiti se uglavnom sastoje iz kvarca i listića sericita, odnosno hlorita.

Hloritošisti imaju kao glavne sastojke kvarc i hlorit, koje u manjoj meri prate muskovit i epidot. Sa povećanjem sadržaja muskovita prelaze u hloritsko-muskovitske škriljce, a umnožavanjem epidota u hloritsko--epidotske. Hloritošisti nekad sadrže feldspat (plagioklas), u kom slučaju mogu da čine prelaz ka gnajsevima.

Hloritsko-biotitski škriljci su dosta retki. Od hloritošista se uglavnom razlikuju po tome što se u njima javljaju ljuspice biotita u vidu porfiroblasta. Pri tom je biotit vrlo retko hloritisan.

Hloritsko-epidotski škriljci razlikuju se od hloritošista jedino u tome što, pored kvarca i hlorita, sadrže i dosta epidota. Epidot je pri tom uvek udružen sa hloritom. Opisane stene nekad sadrže plagioklas i onda čine prelaz ka hloritsko-epidotskim gnajsevima.

Kalcijsko-silicijski škriljci. U seriji para škriljaca kalcijsko-silicijski škriljci su vrlo zastupljeni. Boje su mrke i sive u promenljivim nijansama, do zelenkaste. Često se i golim okom može videti da sadrže hlorit ili muskovit, nekad čak i porfiroblaste kalcita. Skoro redovno su škriljavi, a sa povećanjem sadržaja hlorita dobijaju svilast sjaj. Kalcijsko-silicijski škriljci uglavnom sadrže sledeće minerale: kalcit, kvarc, hlorit, muskovit, feldspat (plagioklas), ređe ortoklas, epidot i biotit. Sadržaj pojedinih minerala u opisanim stenama može jako da varira, usled čega postoje brojni varijeteti, koje ovde nećemo opisivati (23).

Magmatske stene

Na Belasici je dosada otkriven veći broj magmatskih stena, od kojih su neke, zbog naknadnih promena, priključene kristalastim škriljcima (amfiboliti, orto i amfibolski gnajsevi). Među magmatskim stenama dominiraju graniti, iza kojih slede »granit-porfiri« i rioliti, zatim mikro-dioriti i serpentiniti.

Graniti zauzimaju prostor od oko 60 km², a javljaju se u centralnom delu ispitivanog terena i to u vidu masiva. To su škriljave porfiroidne stene, bledoružičaste boje, sa kristalima feldspata veličine i do 1,5 cm. Ovi kristali su predstavljeni plagioklasom, mikroklinom i ortoklasom, ređe još i pertitom. Biotit se obično javlja u nagomilanjima, dok je muskovit mnogo redi. Pored navedenih minerala javljaju se još epidot (takođe u nagomilanjima) i alanit.

»Granit-porfiri« i rioliti. Pojavljuju se na zapadnom obodu granitskog masiva i to u vidu jedne izdužene zone koja leži između Strumice na severozapadu i Dojranskog jezera na jugoistoku. Moćnost zone je varijabilna i može da dostigne 3 km.

Rioliti leže na krajnjem zapadnom obodu pomenute zone. Sive su, do ružičaste boje, često afanitični. Česti su i trakasti tipovi, gde su trake različite debljine, a obojene su ružičastom ili sivom bojom. Rioliti se sastoje iz fenokristala ortoklasa i albita, pri čemu je ortoklas skoro uvek lameliran usled pritiska. Osnovna masa je felzitična ili sferolitska. U prvom slučaju ona je predstavljena kriptokristalastim agregatom kvarca i feldspata, a u drugom se sastoji iz mikroklina, ređe plagioklasa. Ti-

povi riolita koji se sastoje samo iz sferolita su retki. Pored navedenih minerala javlja se i biotit i to u vidu manjih nagomilanja.

»Granit-porfiri« leže između riolita na zapadu i granita na istoku i to između Strumice i Dojranskog jezera. Sastoje se iz fenokristala ružičastog feldspata (ortoklas, mikroklin, oligoklas). Ređe su oaze feldspatskih sferolita.

Mikrodioriti javljaju se u filitičnoj seriji u vidu žica koje prate amfibolite. Tamnosive su do tamnozelene boje. To su kompaktne, sitnozrne stene, nekad škriljave. Sastoje se iz plagioklasa i amfibola, ili biotita, mada ima partija siromašnih bojenim sastojcima. Pored navedenih minerala, javlja se u promenljivim količinama i kvarc, ređe ortoklas. Opisane stene su vrlo bogate u biotitu, koji se nekad javlja u vidu fenokristala. S obzirom na promenljiv sadržaj pojedinih sastojaka, ove stene odgovaraju mikrodioritima, kvarc mikrodioritima ili ređe mikrogranitima. Sve one mogu postupno da prelaze jedna u drugu.

Apliti se uglavnom pojavljuju u granitima i riolitima i to u vidu žica moćnih do dvadesetak santimetara. Uvek su sitnozrni, bele su boje, ponekad sa ružičastom nijansom. Često se makroskopski vide manja nagomilanja sitnih ljuspi muskovita, usled čega zadobijaju škriljav izgled. Apliti uglavnom sadrže ortoklas, plagioklas (ređe mikroklin) i kvarc. Akcesorni minerali su magnetit i epidot a javljaju se u vidu nagomilanja.

Kvarcne i kvarcno-feldspatske žice. Čisto kvarcne žice vezane su za para seriju, amfibolite i biotit-gnajseve, a kvarcno-feldspatske pretežno za riolite. Pored glavnog, dinarskog pravca, pružaju se i u pravcu severoistok-jugozapad, ili skoro istok-zapad. Sve su dosta ispucale, ili čak potpuno zdrobljene. Moćnost im je varijabilna, od nekoliko santimetara (i manje), do nekoliko metara. Opisane žice sadrže nekad okside titana i gvožđa.

Serpentiniti se javljaju u vidu manjih proboja u biotit gnajsevima. Oni predstavljaju u potpunosti serpentinisane perioditite, tako da se pod mikroskopom ne može utvrditi od koje su vrste peridotita nastali.

PETROLOŠKA RAZMATRANJA

Već i sam opis eruptivnih stena ukazuje na njihovu neuobičajenu raznovrsnost. To se, pre svega, odnosi na porfirske stene, čija geneza do danas nije mogla biti u potpunosti rešena. Tako su, na primer, ove stene svojevremeno bile izdiferencirane na sledeći način:

a) Stari škriljavi riolit (mlađi kvarc-porfir)
b) Biotitski škriljavi riolit
c) Trakasti riolit
d) Žice najmlađeg riolita
e) Stariji (sitnorzni) granit-porfir (stariji kvarc-porfir)
f) Mlađi (krupnozrni) granit-porfir.

Da se radi o nenormalnoj koncentraciji različitih, mada sličnih stena, konstatovao je još S. Divljan (37), koji je pokušao da uprosti petrografski sastav ove formacije. Divljan tom prilikom dolazi do izvesnih, vrlo interesantnih zapažanja, koja rezimira u nekoliko pitanja:

»1. Koje su to orogene faze koje su uslovile tri uzastopna magmatska ciklusa, tj. intruzije i efuzije magmi, koje su dale stene gotovo istovetnog hemijskog i mineraloškog sastava i kakav je vremenski interval datih intruzija i efuzija?

2. Da li postoje neke kontaktno-metamorfne promene na granicama »starijih i mlađih« porfirskih stena ove oblasti i kakve su to promene?

3. Kako objasniti činjenicu da idući bliže kontaktu sa paraserijom, odnosno idući iz dubljeg nivoa u plići, opadaju dimenzije zrna kako osnovne mase, tako i fenokristala, dok se stepen uškriljenosti stalno povećava, bez obzira na postojanje tektonskih linija, koje ometaju kontinuelno praćenje ovih promena.

4. Kako objasniti dve uzastopne sinorogene intruzije i jednu efuziju iste magme u većem vremenskom intervalu na jednom relativno uskom prostoru, pri čemu su skoro sva tri člana pretrpela uglavnom iste mehaničke i hidrotermalne promene?«

Na sva ova pitanja S. Divljan daje odmah odgovor, iznoseći mišljenje da se ovde radi o sukcesiji stena jedne iste intruzivne faze, najverovatnije sinorogene, koja bi prema B. Sikošeku, trebalo da odgovara laramijskoj fazi (gornja kreda-tercijar). Primarne razlike u strukturi i teksturi bile su prouzrokovane različitom brzinom hlađenja i nekim drugim fizičko-hemijskim uslovima u toku konsolidacije.

S. Divljan dalje kaže da su primarne razlike docnije delom izbrisane, ili još jače potencirane, usled intenzivnih hidrotermalnih i mehaničkih promena, koje su ove stene pretrpele kako neposredno nakon očvršćavanja, tako verovatno i docnije, u toku neke mlađe orogene faze.

Na osnovu posmatranja odnosa belasičkog granit-gnajsa i granit-porfira okoline Strumice, izvršenih u Srpskom potoku kod Svidovice, S. Divljan dolazi do zaključka da granit-porfiri, zajedno sa starim riolitima, predstavljaju obodnu, brzo hlađenu zonu, granitskog masiva Belasice.

S. Cvetić (1957) ukazuje na intimno mešanje svih stena obodne zone i smenjivanje na malom prostoru i dodaje, da pored navedene mineraloške i hemijske sličnosti ovih stena, postoji i velika sličnost u sadržaju retkih metala (S. Maksimović, 1957). S. Cvetić dalje kaže da postoje izvesne razlike u izgledu i strukturi između granit-porfira i riolita, ali da one nisu bitne za razdvajanje ovih stena, već uzroke ovim razlikama treba tražiti u jakoj prekristalizaciji stena iz »obodne zone«, pod uticajem granitske magme, koja je bila praćena i metasomatskim procesima. Metasomatski procesi po S. Cvetiću, ogledaju se u povećanoj krupnoći sastojaka kako osnovne mase, tako i fenokristala, što se lepo može videti pri udaljavanju od kontakta sa granitom. Najviše je, pri tom, izražena kalijska i silicijska metasomatoza, ali je usled dejstva granita dolazilo i do stvaranja biotita, fluorapatita, fluorita i granata. Na osnovu svega ovog Cvetić dolazi do sledećih zaključaka:

a) Stene »obodne zone« predstavljene su riolitima, koji su prekristalisali pod uticajem granita. To znači da je obodna zona zasebna formacija, a ne brže hlađeni obod granitskog masiva.

b) Rioliti su paleozojske starosti i stariji su od granita.

Pre no što nastavimo diskusiju, hteli bismo da iznesemo neke karakteristike proučavanih magmatskih stena, koje po našem mišljenju, mogu doprineti boljem poznavanju procesa koji su doveli do njihovog stvaranja i naknadnih promena.

Kao možda jednu od najvažnijih, treba navesti činjenicu da ne postoje oštri kontakti između škriljavih riolita i sitnozrnih i krupnozrnih »granit-porfira«, kao ni kontakti između ovih stena i granita. Prelazi su, dakle, postupni, a prelazne zone mogu da iznose i stotinak metara i zasada su potpuno neispitane. Kao lep primer navešćemo kontaktnu zonu „granitporfir«-granit kod Svidovice, koja je široka oko 100 metara. Izlazeći iz granita ovaj postaje kompaktniji (manje kaolinisan), a radioaktivnost mu slabi za nekoliko mikrorendgena. Zatim se pojavljuju manji »anklavi« biotitskog škriljca u granitu (feldspatiziranog), da bi preko aplitične partije prešao u sitnozrnu, silifikovanu, stenu i na kraju u »granit--porfir« sa dosta biotita. Cela prelazna zona je manje ili više silifikovana, a delom i granit i »granit-porfir«. Unutar ove zone »granit-porfir« je jako škriljav i pun biotita, tako da podseća na biotit-gnajs.

Kontakt granita prema porfirskim stenama dobro je vidljiv i severno od Karataša (1 km JI od k. 831), u jednoj otkrivenoj jaruzi. Ovde je moguće potpuno kontinualno pratiti postupan prelaz od masivnog porfiroidnog granita ka škriljavim »granit-porfirima«. Kontaktna zona široka je nekoliko desetina metara i jako je alterisana, ali mehanički nije osetno deformisana.

Kontakt porfirskih stena prema para seriji obično je mogao biti posmatran u blizini sela Bajrambos, naročito unutar polja i u neposrednoj okolini otkrivenih anomalija radioaktivnosti. Ovde se jasno vidi da sericitsko-muskovitski škriljci postupno prelaze u riolite, pošto se i golim okom može zapaziti povećanje sadržaja feldspata idući od škriljca ka riolitu. Ovi prelazni oblici mogu se višestruko pojaviti, što će reći, da idući kroz škriljac, dalje od riolita, može ponovo da dođe do obogaćenja navedenog škriljca u feldspatu.

Tako, bar u nekim ispitanim delovima kontaktne zone, dolazi do trakastog smenjivanja skoro neizmenjenog škriljca, riolita i »međuprodukata«, to jest produkata koji su bliski riolitu, ili škriljcu, odnosno odgovaraju injekcionom gnajsu.

Odnos granita prema metamorfnim stenama opisao je još S. C v e t i ć, iznoseći podatke za jedan mali deo terena, ali koji su vrlo karakteristični. Iz njih se jasno vidi da u tom delu terena granit prelazi u metamorfne stene preko migmatita. Naša ispitivanja su ovo potvrdila, a takođe je ovom prilikom konstatovano da svuda gde su ovi kontakti posmatrani, oni nisu oštri i slični su odnosima na kontaktu škriljac-riolit.

Bitna je i činjenica da se sitnozrni i krupnozrni (ranije stariji i mlađi) »granit-porfir«, kako je već ranije naglašeno (S. D i v l j a n, S. C v e t i ć, M. P a v l o v i ć) ne mogu izdiferencirati kao dve zasebne stenske mase. Ovde se treba naročito podsetiti na činjenicu da su u »granit-porfirima« promene često nagle, što će reći da se krupni feldspati mogu iznenada povući i opet pojaviti, jako grupisati i razrediti i da do ovih promena, prema našim ispitivanjima, može da dođe i na prostoru od 1 m^2.

Značajno je i to da su porfirske stene, koje smo gore opisali, škriljavog habitusa, te da pre liče na članove kristalaste podloge, nego na magmatske stene. Pojedine partije čak više liče na filite i druge škriljce, nego na eruptiv.

Mada u proseku u manjoj meri i granit je obično škriljavog habitusa i više liči na gnajs. Uz sve ovo treba dodati da se pravac škriljavosti svih ovih stena u potpunosti poklapa sa folijacijom kristalaste podloge.

Treba, najzad, ukazati i na činjenicu, da stupanj očuvanosti feno-kristala kod porfirskih stena nije uvek u skladu sa njihovom opštom očuvanošću, usled čega se nailazi na skoro potpuno očuvane feldspate u sasvim promenjenoj osnovnoj masi stene.

Dosadašnja ispitivanja nisu dovoljna za dobijanje potpune petrološke slike proučavanog terena Belasice. Postoji, međutim, prilično velik broj podataka na osnovu kojih se može doći do određenih zaključaka i postaviti izvesni problemi. U sledećem izlaganju mi ćemo ih ukratko rezimirati.

Kristalasti škriljci

Ne izgleda mnogo verovatno da je u svoje vreme zapadna granica gnajseva Belasice išla istočnim obodom granitskog masiva (koji tada još nije postojao), već je ona verovatno ležala mnogo zapadnije i bila u kontaktu sa filitično-mermernom serijom.

Postoje elementi koji ukazuju na mogućnost da su ortognajsevi, u celini uzev, granitizirane para stene (mikašisti, škriljci), i da je najveći deo ovog procesa obavljen pre pojave porfiroidnih granita. U prilog ovakvom gledištu ide pre svega činjenica da ortognajsevi, prema superpoziciji, leže preko amfibolskih, a to znači da granitska magma nije mogla da se »prelije« preko kristalaste podloge, niti da se utisne u kristalastu seriju a da ne dođe do intimnog mešanja ovih stena. Pored toga, »orto gnajsevi« nekad liče na mikašiste i često sadrže granat, koji je inače mnogo češći u mikašistima nego u granitima. Opisani gnajsevi su naknadno feldspatizirani i to verovatno pod uticajem porfiroidnih granita (okcasti gnajs).

Široko je rasprostranjena metasomatoza škriljaca iz filitično-mermerne serije, a sam proces je bio vrlo složen i raznovrstan. Tako je znatan deo ovih stena (zona Bajrambos—Jumru Koja—Papadžali i dr.) duž škriljavosti manjim delom zamenjen kvarcom, kalcitom, mestimično i biotitom. Takođe je na više mesta zapažena feldspatizacija ovih stena (naročito dobro izražena u okolini s. Bajrambos), odnosno stvaranje injekcionih gnajseva (zona Bašiboz—Buluntuli—Jurmu Koja).

Pored gornjih procesa zapažena je i biotitizacija škriljaca, odnosno stvaranje krupnih kristala biotita u hloritsko-sericitskim škriljcima, krupnih kristala kalcita i dr.

Amfibolske stene, od kojih sigurno bar neke predstavljaju metamorfisane bazične stene*, takođe su bile zahvaćene metasomatskim procesima, tako da je na više mesta zapaženo stvaranje kristala amfibola (nekad veoma krupnih), pored feldspata i kvarca, odnosno dioritizacija ovih stena.

---

* Rudno-mikroskopska ispitivanja, koja smo obavili, pokazala su da se u nekim od ovih stena pojavljuju oksidi titana i gvožđa kao normalni sastojci stene.

Magmatske stene

Postoje mnoge indikacije koje ukazuju na pretežno metasomatsko stvaranje magmatskih stena. To se, pre svega, odnosi na granit, koji pokazuje izvesne karakteristike metasomatskih stena:

a) granitizacija okolnih škriljaca
b) postupni prelazi prema ovim stenama
c) gnajsolik izgled granita
d) identična folijacija u oba slučaja
e) feldspatizirani proslojci, bankovi i partije gnajseva u granitima, koji su uvek »utisnuti« lit-par-lit.
f) pretežno pojavljivanje biotita u granitu u nagomilanjima.

Sitnozrni i krupnozrni »granit-porfiri« i rioliti predstavljaju jednu istu stenu, koja je pod uticajem granita metasomatski izmenjena, prinosom kvarca, feldspata i delom liskuna. Na taj način su rioliti znatnim delom pretvoreni u granit-porfire, koji se po pravilu ne stvaraju u vidu masiva.

Rioliti su samim tim stariji od granitskog masiva, a o tome govore i aplitske žice koje smo ispitivali i koje se pojavljuju u obe ove stene. Ako su ove žice pratioci granita Belasice i ako su rioliti mlađi od granita, onda aplite u riolitima ne bi trebalo očekivati.

Ako bi se prihvatilo mišljenje o metasomatskom karakteru »orto gnajseva«, granita i riolita, nametnuo bi se sam po sebi zaključak da je oblast Belasice pretrpela bar dva snažna metasomatska procesa, koji se vremenski razlikuju, ali koji su hemijski bili vrlo slični. Pri svemu ovom treba ukazati da brojni problemi u vezi sa petrologijom Belasice do danas nisu rešeni, pa se i gornji zaključci moraju posmatrati u navedenom svetlu.

Tako može da se kaže da kontakti između pojedinih stena nisu sistematski proučeni, i da ovaj posao tek treba uraditi. Takođe su ostali nedovoljno proučeni trakasti tipovi riolita, usled čega nisu ni mogli biti sigurno utvrđeni stvarni uzroci ovakvih struktura u konkretnom slučaju. Ne postoje, naime, dokazi da su trakasti tipovi riolita dobili današnju teksturu usled viskoznosti lave, a sami rioliti u mnogome podsećaju na migmatite, odnosno migmatiziranu tufitno-škriljavu formaciju.

Poseban značaj ima postgranitska metasomatoza koja je nedovoljno proučena. Upadljivo je pri tom da su očuvani ružičasti feldspati zapaženi ne samo u izmenjenim riolitima (»granit-porfiri«), već takođe i u granitima. Sem toga, na mogućnost snažnije postgranitske metasomatoze ukazuje i okolnost da kalcit, koji zajedno sa kvarcom i drugim pratećim mineralima, vrši metasomatozu filitičnih škriljaca i dovodi do stvaranja jedne vrste k a r b o n a t i t a, često nije polomljen, dok su s druge strane kvarcne žice sa Belasice najčešće polomljene, ili čak sprašene.

Nije dovoljno razjašnjena ni pojava mlađih riolitskih žica, iako su one petrografski dobro proučene. One su svakako mlađe od opisanih riolita, ali njihova geneza nije do danas tačno utvrđena. U vezi sa ovim treba se podsetiti na neke zaključke S. C v e t i ć a, koji se odnose na tanke žilice mlađeg granitskog materijala, a koje bi mogle biti vrlo mlade.

Treba se upitati ne ukazuje li sve ovo na mogućnost postojanja tri plutonske granitoidne faze, sa odgovarajućim subvulkanskim riolitskim i

drugim pratiocima, pri čemu je granitski masiv Belasice dobrim delom odgovoran za maskiranje prve i treće plutonske faze. Ako prihvatimo ovakvu pretpostavku, onda nam se sam po sebi nameće sledeći zaključak:

Najstarija plutonska akcija manifestuje se gnajsificiranjem škriljaca i mikašista i stvaranjem stena koje su neki autori nazvali ortognajsevima. Sledi zatim plutonska akcija koja je dala granitoidni masiv Belasice i izazvala feldspatizaciju manje-više svih okolnih stena. Najmlađa faza uglavnom se manifestuje feldspatizacijom i metasomatozom granitoida Belasice, kao i okolnih stena uključujući i riolite, pri čemu ružičasti feldspati treba da su njeni glavni vesnici i uzročnici stvaranja »granit-porfira« na račun riolita.

Sve ove akcije u ispitivanom prostoru treba da su uglavnom metasomatskog karaktera, što znači da je i granitoidni masiv Belasice stvaran metasomatskim putem.

Zasada nije moguće dati odlučan sud o tome koja je faza plutonske akcije izazvala glavnu silikaciju stena koja je zapažena na više mesta u opisanoj oblasti i dovela u više slučajeva do pojava skoro pravih kvarcita. Ovaj problem, međutim, zahteva da bude posebno proučen.

STRUKTURNA GRAĐA

Kristalasti masiv Belasice, sa orografskim pravcem I—Z, nalazi se u krajnjem JI delu Jugoslavije i to u graničnom prostoru Srpsko-makedonske mase i Unutrašnjeg dinarskog pojasa, odn. »Vardarske zone«.

Rezultati ranijih istraživanja gotovo da nema, ili su ona delimična, tako da do pojave radova B. Sikošeka (15, 40) i A. Antonovića i dr. (3) tektonska građa Belasice bila je skoro nepoznata.

Po B. Sikošeku pojas od Kukliša do Dojranskog jezera prosečne širine 3—4 km, u kome se javljaju eruptivi, predstavlja ustvari obodnu ivicu »Vardarske zone«, preko koje je kraljušasto navučena u pravcu jugozapada, jedinica Srpsko-makedonske mase (prilog 1). Tektonska građa toga terena je vrlo jednostavna — kraljušasto naleganje eruptivnog pojasa preko škriljave serije, kao što je to slučaj u severozapadnom produžetku terena od Kukliša ka Strumici. Mlađi eruptivi (rioliti i granit-porfiri) su ustvari uklješteni između škriljave para serije na jugozapadu i Srpsko-makedonskog kristalina na severoistoku. Slično kao u prostoru Kukliš—Strumica i u području prema JI je taj eruptivni pojas iskraljuštan i to tako da pojedini facijalni diferencijati figuriraju kao zasebne tektonske jedinice. Linije navlačenja ispoljene su na terenu izrazito jasno i protežu se skoro pravolinijski — neporemećene nekim sekundarnim poprečnim rasedima. Takva poprečna razmicanja konstatovana su jedino na liniji na zapad od Kukliša.

S obzirom na kontinuitet toga eruptivnog pojasa i njegovo mesto koje zauzima, kao i na tektonske linije koje ga ograničavaju, nameće se zaključak da ta struktura oboda geotektonske jedinice Vardarske zone mora imati svoje produženje u SZ pravcu i da se ona ne završava kod Strumice. Po B. Sikošeku ona se nastavlja na liniji Rodanje—Zletovo—Kratovo (pomerena granica prema istoku u odnosu na Kossmat-ovu).

Svi padovi u pojasu Kukliš—Svidovica—Dojransko jezero su potpuno pravilno usmereni prema SI polju, a linije navlačenja i kraljuštanja idu skoro pravolinijski.

Kao posledica horizontalnog razmicanja u prostoru Kukliša javlja se povijanje sekundarnih tektonskih linija na području Svidovice — u pravcu Z—SZ, koje su u tom rejonu praćene i nešto jačim drobljenjem.

Istočno od tektonske linije prvog reda Svidovica—Dojransko jezero javlja se geotektonska jedinica Srpsko-makedonske mase koja je u strukturnom pogledu vrlo jednostavne građe. Na terenu su konstatovane samo tri tektonske linije, od kojih je jedna u prostoru južno od sela Mokrijeva, koja je jačeg intenziteta i koja deli masiv Belasice na približno dva jednaka dela, koji se razlikuju i po svom petrografskom sastavu.

Sledeći svoju koncepciju da pojedini facijalni diferencijati figuriraju kao zasebne tektonske jedinice B. S i k o š e k daje superpozicioni red kristalastih serija koji izgleda ovako:

Graniti, odn. granit-gnajsevi, koji se javljaju u prostoru između tektonskih linija Svidovica—Nikolić i Borisovo—Sečena Skala, predstavljaju centralno batolitsko telo utisnuto u kristalasti omotač, koji naleže preko njega sa svojim raznim petrografskim članovima u vidu ljuspi.

Najdublji član te kristalaste serije predstavljali bi amfibolitski gnajsevi, amfiboliti, a iznad njih leže biotitski sitnozrni gnajsevi. Na pojedinim mestima umesto amfibolitskih gnajseva javljaju se »okcasti« gnajsevi, koji su nastali verovatno pod uticajem granitizacije, odnosno migmatizacije, koju je izvršila granitska magma tog granitskog batolitskog tela.

Preko ove stare kristalaste serije nalazila se škriljava para serija, koja je u tom prostoru erodovana, ali koja je zastupljena u zapadnom delu ovog terena koji već pripada geotektonskoj jedinici Vardarske zone.

O starosti eruptiva u obodnom pojasu Vardarske zone, po B. S i k o š e k u, na osnovu tektonske geneze ove oblasti, oni bi morali biti dosta mlađi. Prema funkciji koju ima ova obodna zona kao jako mobilna i duboko dislokovana na čitavom svom prostranstvu, ovaj magmatizam morao je pasti negde krajem gornje krede — odnosno bili bi sinrogeni magmatizam laramijske faze alpiske orogeneze.

A. A n t o n o v i ć, V. V u j a n o v i ć i S. V i š i ć su utvrdili da se u masivu Belasice radi o nedovoljno jasno definisanim granicama, odnosno o međusobno postupnim prelazima formacija, naročito unutar riolitskog kompleksa. Zbog toga povlačenje regionalnih reversnih raseda (linija navlačenja) na karti duž kontakta svih formacija bilo je neopravdano. Ovim se ne negira postojanje reversnih kretanja istog smera i duž istih i drugih ravni unutar pojedinih formacija. Isto tako pojedine granice predstavljaju rasede sa vertikalnom ravni ili dosta moćne rasedne zone, ali koje se pružaju najčešće duž granica između različitih stenskih masa. Tako na pr. rudarskim radovima u Đupskom Poroju utvrđeno je da velika dislokacija prvog reda Đupski Poroj ne predstavlja granicu između krupnozrnih i sitnozrnih feldspatiziranih riolita, već zahvata i jednu i drugu formaciju, gde se naizmenično i postupno smenjuju krupnozrni i sitnozrni feldspatizirani rioliti.

U prostoru između Kukliša i Strumice najviše su izražene tektonske deformacije rasednog tipa u vidu dva sistema: jedan pravca pretežno

S—J, drugi I—Z sa tendencijom ka pravcu SZ—JI. Rasedi su dosta strmi, punjeni glinovitim drobinskim materijalom, a često su izrazite i rasedne zone sa snopom manjih dislokacija. Najizrazitija razlomna zona pruža se u pravcu S—J duž potoka Đupski Poroj, izbijajući na jug na reku Trkajnu, tako da se može pratiti na dužini preko 2 km. Dok je u severnom delu snop raseda debeo 50—100 m, sa žicama gline duž površina rasedanja, u srednjem i južnom delu javljaju se prostrane zone breča cementovane limonitom.

Kontakt serija filita i kalkšista s jedne strane i škriljavih riolita s druge vidljiv je u potoku Trkajna i predstavljen je jednom prostranom zonom jako polomljenih i alterisanih stena, u vidu izrazite rasedne zone, u kojoj je nemoguće razlikovati jedne od drugih.

Na osnovu podataka i zapažanja A. Antonovića, V. Vujanovića i S. Višića dobija se utisak da je cela oblast riolitskih stena bila izložena tektonskim pokretima u jednom geološki dugom periodu, pri čemu su se smenjivali procesi metamorfizma i magmatizma sa svim pratećim manifestacijama. Veoma izražen stepen uškriljavanja riolitskih stena, pored intenzivne feldspatizacije, ukazuje na dublji nivo metamorfizma ovih stena bez obzira na njihovo poreklo. Pojava kompaktnih riolitskih stena, bez makroskopski vidljivih tragova škriljavosti, ukazuje i na kasniju magmatsku aktivnost.

G. Deleon (8) je dobio »Sr starost« za Belasicu 100—124 mil. godina (do sličnih rezultata je došao i W. Harre i dr. (11), što odgovara donjoj kredi (alb-barem) ili austrijskoj orogenoj fazi. Uz to smatra da graniti i rioliti Belasice nisu kredne starosti, već da njegove vrednosti o starosti odražavaju samo jedan od postmagmatskih procesa.

Moguće je da su razlomne dislokacije tipa Đupski Poroj nastale ili su bile ponovo aktivirane u toku veoma mladih tektonskih procesa. Ovi pokreti su svakako praćeni izvesnom magmatskom aktivnošću čiji su odraz termalne vode kod Banskog i vidni tragovi hidrotermalne alteracije na celom južnom obodu Strumičkog polja (prilog 1).

Najmlađa dislokacija, koja ide duž oboda Strumičke kotline i koja je uslovila njeno spuštanje, nastala je u pleistocenu, tačnije krajem neogena i početkom pleistocena i kao posthumna kretanja traju i danas. Uz to treba naglasiti da od južnih padina Ograždena preko Strumičke kotline prema Belasici postoji najverovatnije sistem stepeničastih raseda, s tim što je obodni rased Belasice u tom nizu najmlađi. Na ovo ukazuje naglo dizanje reljefa Belasice na kontaktu sa kotlinom i postupnost porasta visina reljefa Ograždena.

Ako se uzme u obzir da je Strumički basen tektonski rov i da su visinske razlike između dna basena i oboda znatne, onda se dolazi do zaključka da veličina spuštanja iznosi 500—600 m i da su rasedi, duž kojih je izvršeno spuštanje, sekli stare tektonske linije.

Studija stena Belasice (A. Antonović, V. Vujanović i S. Višić, (3) dokumentovano ističe međusobne postupne prelaze formacija, naročito unutar riolitskog kompleksa, i ujedno isključuje postojanje linija navlačenja duž kontakta pojedinih formacija.

Neosporno je postojanje reversnih kretanja i rasednih zona na pojedinim kontaktima i unutar određenih formacija kao i velike dislokacije duž oboda Strumičke kotline.

Ovako utvrđene činjenice negiraju da linija Svidovica—Kjučjuk Česma—Ismail Kala Karani—Dojransko jezero (Nikolić), koja ide skoro pravolinijski u pravcu SZ—JI, obeležava graničnu liniju između Srpsko-makedonske mase i »Vardarske zone«. Povlačenje tako oštre granične linije ne može se prihvatiti, jer naša izučavanja u severnijim graničnim oblastima sa »Vardarskom zonom« govore da je u pitanju prelazni prostor, a ne kontaktna linija.

Mineraloške i rudne pojave

Od ranije je poznato prisustvo većeg broja sulfidnih parageneza na Belasici i to pre svega pirita, galenita, sfalerita, halkopirita, a takođe i zlata. Tako su poznate sulfidne pojave kod Buluntulija, Bajrambosa, i Kara Taša, a u novije vreme Bizave Ritke, Đupskog Poroja i dr. U ove poslednje tri lokalnosti, pored sulfida, otkrivene su i uranove pojave, a takođe i u lokalnostima Lipe potok i Svidovica. U lokalnosti Kolešino otkriven je samo autunit, bez sulfida. Kod Bajrambosa uranova mineralizacija takođe nije prostorno vezana za sulfide (autunit, torbernit), a to važi i za lokalnosti Krist (metatorbernit), Popovnjak (radioaktivni limonit) kao i Sušicu gde, pored autunita i metatorbernita, prisustvuje još samo hematit.

U lokalnosti Banjsko termalna voda izlučuje kalcit, aragonit i radioaktivni limonit, bez sulfida.

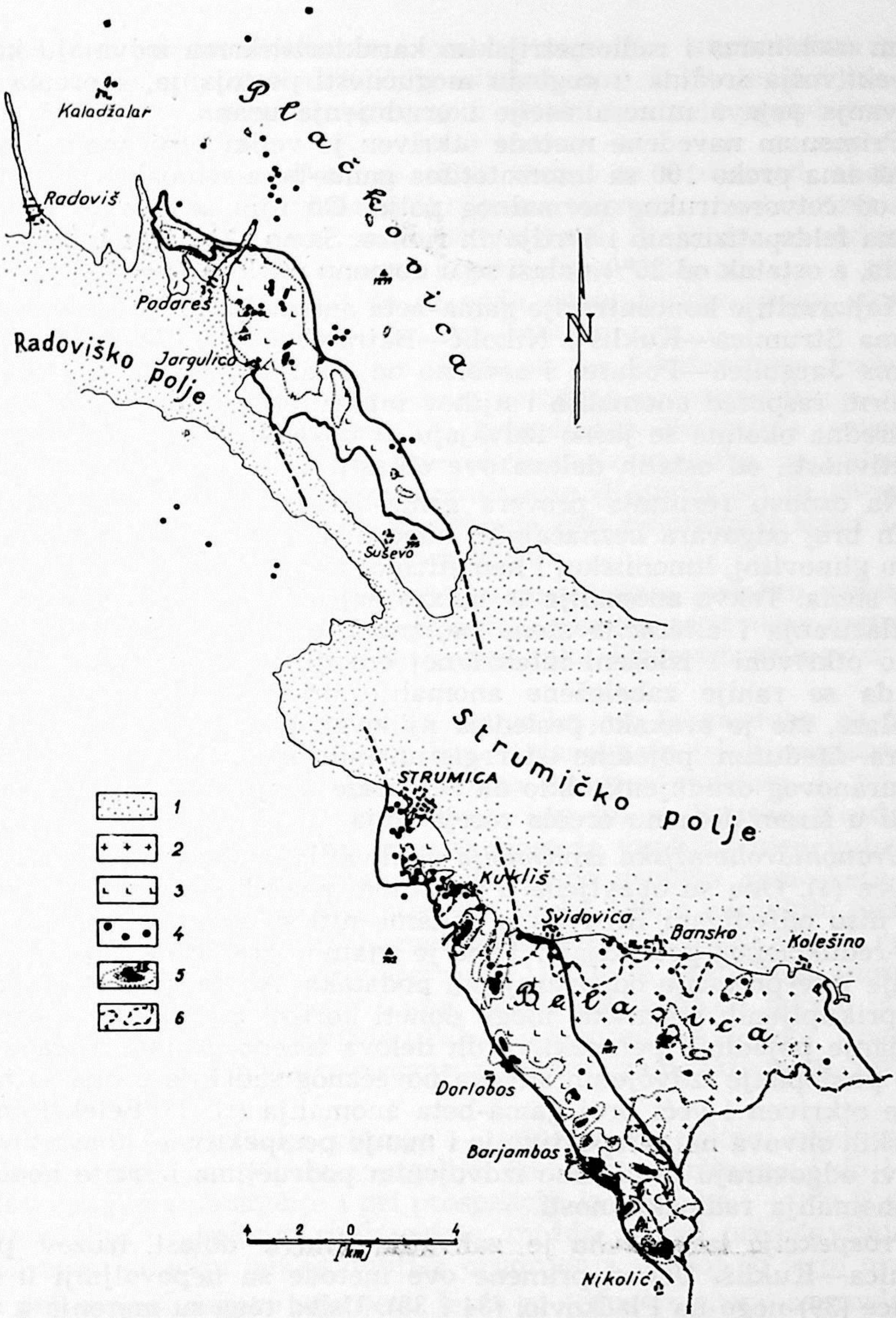
Na Pljačkovici se s jedne strane uranovi minerali udružuju sa sulfidima (Podareš), a s druge strane ovi poslednji sasvim izostaju (Karadžalar). U prvom slučaju, pored pehblende i sekundarnih uranovih minerala, nastupaju sulfidi olova, cinka i bakra, čak antimonit i molibdenit, a u drugom asocijacija je predstavljena samo sekundarnim mineralima i to autunitom, uranofanom, limonitom i psilomelanom.

REGIONALNA ISPITIVANJA

U oblasti Belasica—Plačkovica primenjena su tri vida regionalne prospekcije: gama-beta, uranohidrohemijska i prospekcija iz vazduha. Ovakav redosled ispitivanja uslovljen je razvojem i osvajanjem pojedinih metoda u toku aktivnosti na istraživanju urana u našoj zemlji.

Gama-beta metoda primenjivana je u nekoliko navrata. Pojedini delovi terena ispitivani su više puta, što je česta praksa i u ostalim zemljama, naročito u početnom periodu korišćenja radiometara, koji su vrlo brzo usavršavani i u kratkim vremenskim razmacima zamenjivani novim tipovima. Paralelno sa prvim radiometrijskim ispitivanjima vršeno je i šlihovanje potočnih nanosa sa odgovarajućim proučavanjima.

Radiometrijskom prospekcijom obuhvaćena je površina od oko 350 km², sa razmerama ispitivanja od 1 : 50.000 do 1 : 100.000. Do izvesne neujednačenosti u stepenu istraženosti, pri primeni gama-beta metode u ovoj oblasti, došlo je usled teške prohodnosti pojedinih delova terena. Osim toga, ponovljena ispitivanja, korišćenjem usavršenijih instrumenata i povećanjem detaljnosti istraživanja, vršena su naročito u pojasu riolita, kako Belasice tako i Plačkovice (sl. 1), koji se po svojim geološko-struk-



Sl. 1. — Pregledna karta rezultata radiometrijskih i hidrogeohemijskih regionalnih ispitivanja u oblasti Belasica — Plačkovica (Prema podacima V. Simića, M. Petrovića, M. Arsenijevića i dr).
1 — Aluvijum; 2 — granit; 3 — riolit; 4 — anomalije gama-beta radioaktivnosti (2 do 4 puta intenzitet normalnog polja); 5 — gama izorade μR/h (aeroprospekcija); 6 — slivovi sa anomalnim sadržajima urana (hidrogeohemijska prospekcija).

Fig. 1. — Generalized map showing results of radiometric and hydrogeochemical regional investigations in the Belasica — Plačkovica area.
1 — Alluvion; 2 — granite; 3 — rhyolite; — gamma-beta ray anomalies; 5 — gamma isolines — μR/h (airborne prospection); 6 — areas with anomalous contents of uranium (hydrogeochemical prospection).

turnim osobinama i radiometrijskim karakteristikama izdvajaju kao najperspektivnija sredina u pogledu mogućnosti postojanja, a prema tome i otkrivanja pojava mineralizacije i orudnjenja urana.

Primenom navedene metode otkriven je veliki broj anomalija među kojima ima preko 100 sa intenzitetima gama-beta radioaktivnosti koje su veće od četvorostrukog normalnog polja. Od njih se oko 63% nalazi u zonama feldspatiziranih i škriljavih riolita. Samo 17% otpada na područje granita, a ostatak od 20% nalazi se u domenu okolnih geoloških formacija.

Najizrazitije koncentracije gama-beta anomalija na Belasici su u područjima Strumica—Kukliš i Nikolić—Bajrambos, a na Plačkovici u područjima Jargulica—Podareš i severno od Podareša (sl. 1). S obzirom na prostorni raspored anomalija i njihov intenzitet, predeo riolita i njegova neposredna okolina se jasno izdvajaju, u pogledu anomalijskog polja radioaktivnosti, od ostalih delova ove oblasti.

Na osnovu rezultata provere gama-beta anomalija, utvrđeno je da znatan broj odgovara beznačajnim koncentracijama radioaktivnih elemenata u glinovitoj, limonitskoj i hematitskoj materiji po pukotinama i prslinama stena. Takve anomalije se nalaze najčešće baš tamo gde su pojave kataklaziranja i alteracije stena najizrazitije. Ovakvi delovi terena su obično otkriveni i izloženi intenzivnoj eroziji pa stoga nisu retki slučajevi da se ranije zabeležene anomalije, pri naknadnoj prospekciji, ne pronalaze, što je svakako posledica njihovog lokalnog i površinskog karaktera. Međutim, pojedine od registrovanih anomalija reprezentuju pojave uranovog orudnjenja, bilo da se nalaze u njihovoj neposrednoj okolini ili u širem domenu oreola rasejavanja.

Uranohidrohemijska ispitivanja obuhvatila su samo područje planine Belasice (4). Ona su obavljena u početnom periodu primene ove metode. Tada nisu određivani Rn i Ra u vodama niti su vršena merenja oksidaciono-redukcionog potencijala. Time je znatno ograničena mogućnost svestranije interpretacije odgovarajućih podataka. Ali se ipak, na osnovu do sada prikupljenih podataka, mogu doneti korisni zaključci, s obzirom na izdvajanje pojedinih perspektivnijih delova terena. Naime, uočava se izvesno poklapanje izdvojenih slivova povećanog sadržaja urana sa zonama gde je otkriven i veći broj gama-beta anomalija (sl. 1). Selekcijom anomalijskih slivova na perspektivnije i manje perspektivne, konstatovano je da prvi odgovaraju prethodno izdvojenim područjima izrazite koncentracije anomalija radioaktivnosti.

Prospekcija iz vazduha je zahvatila čitavu oblast, izuzev predela Strumica—Kukliš. Uslovi primene ove metode su nepovoljniji u rejonu Belasice (39) nego na Plačkovici (34 i 35). Usled toga su merenja u prvom slučaju vršena na visinama od 50 m do 100 m na znatnom delu terena, dok su u drugom letovi obavljeni ispod 50 m. Razmera ispitivanja na Belasici iznosi oko 1 : 25.000 do 1 : 30.000 a na Plačkovici 1 : 15.000. Prema tome, detaljnost radiometrijskih ispitivanja iz vazduha je veća na Plačkovici nego na Belasici. I pored toga, dobijeni rezultati ukazuju na efikasnost aeroradiometrijske metode čak i pod uslovom njene primene koji karakterišu područja slična rejonu Belasice.

U zoni riolita Dojransko jezero—Strumica registrovan je znatan broj anomalija. Većina od njih odražava otkrivene delove magmatskih stena sa povećanim sadržajem radioaktivnih elemenata. Uočljivo je da se oko

50% anomalija, među kojima su i one sa najvećim intenzitetom radioaktivnosti, nalazi u području Nikolić—Bajrambos. Ovde je vidljivo grupisanje i anomalija dobijenih primenom ostala dva vida regionalne prospekcije.

Na području Suševo—Podareš—Kaladžalar, na Plačkovici, anomalijska radioaktivnost nad kristalastim škriljcima odgovara vrednostima iznad 15 μR/h, a nad zonom riolita preko 20 μR/h (sl. 1). Rioliti su uglavnom okontureni izoradom 15 μR/h, sem jugoistočnog dela, gde su u znatnoj meri pokriveni nanosom, tako da se ovde anomalijskim mogu smatrati i niže vrednosti radioaktivnosti.

Najizrazitije anomalije u zoni riolita su na lokalnostima Podareš i Jargulica, gde su proverom, još dok je izvođena aeroprospekcija, otkrivene pojave uranovog orudnjenja. U kristalastim škriljcima, severno i severoistočno od riolitske mase, prospekcijom iz vazduha su indicirane manje značajne pojave uranove mineralizacije (Karadžalar) ili anomalije koje odgovaraju otkrivenim delovima terena, gde su prisutne stene sa povećanim sadržajem radioaktivnih elemenata.

Upoređujući rezultate iz vazduha sa rezultatima pešačke gama-beta prospekcije u regionu Plačkovica—Belasica, nameću se izvesna razmatranja, koja su od interesa pri tumačenju podataka dobijenih primenom ovih metoda.

U domenu anomalija otkrivenih prospekcijom iz vazduha na lokalnostima Bajrambos, Kara Taš, Jargulica, Podareš i dr. (sl. 1), registrovane su ranije i gama-beta anomalije u okviru krugova radijusa do 0,5 km. Međutim, na nekim drugim lokalnostima, kao što su Bansko, Svodovica, Kara Tarla, Sirava reka i dr., prospekcijom iz vazduha nisu indicirane anomalije radioaktivnosti, mada se ovde jasno grupišu gama-beta anomalije, od kojih pojedine imaju intenzitet preko 100, a na nekim mestima i preko 1000 μR/h. Najizrazitiji primer predstavlja lokalnost Sirava reka—grupa anomalija severno od Podareša (sl. 1). Tu se gama-beta anomalije koncentrišu na površini od oko 1 km². Među njima ima i takvih čiji intenziteti dostižu i nekoliko hiljada μR/h. Ali i pored svega toga, iznad ove lokalnosti nisu registrovane povećane vrednosti radioaktivnosti pri prospekciji iz vazduha.

Opravdano se postavlja pitanje — zašto se na nekim lokalnostima, gde se koncentrišu gama-beta anomalije, često na površinama i do 1 km², ne registruju gama anomalije i pri prospekciji iz vazduha i — da li gama-beta anomalije u ovakvim slučajevima, možda, nekad predstavljaju površinsku manifestaciju nekog dubljeg orudnjenja u užoj ili široj okolini?

Za pojedine slučajeve utvrđeno je da ni jedna iz grupe anomalija ne zahvata površinu ni onih najmanjih gde su aeroprospekcijom otkrivene pojave sa vidljivom sekundarnom mineralizacijom urana (Jargulica, Kaladžalar, Kara Taš), niti pak skupa formiraju kontinuirano polje gama radioaktivnosti na nivou letenja, koje bi se u tom slučaju uočilo pri prospekciji iz vazduha. Takve su anomalije na lokalnostima Bansko, Svidovica i dr., gde je njihov »tačkast« karakter gama zračenja potvrđen kako u fazi poludetaljnih tako i u fazi detaljnih ispitivanja.

Slično tumačenje ne bi u potpunosti zadovoljavalo situaciju na lokalnosti Sirava reka. Kao što je već naglašeno, ovde se radi ne samo o uočljivoj grupaciji gama-beta anomalija na znatnoj površini terena, nego su u

pitanju i najizrazitiji intenziteti odgovarajuće radioaktivnosti. Prilikom njihove provere, odnosno prilikom detaljnijeg ispitivanja ovog terena, mnoge gama-beta anomalije nisu pronađene, a na prospektovanom terenu otkrivene su samo dve sa intenzitetima gama radioaktivnosti od 15 do 20 μR/h.

Moguće je da se i ovde radi o sličnom tipu anomalija, koje su napred opisane. Međutim, navedeni podaci idu i u prilog pretpostavke da se na takvim terenima radi o oreolima rasejavanja urana, koji sadrže sasvim neznatne količine radijumovih soli, usled čega su u domenu takvih oreola rasejavanja, bez obzira što oni zahvataju znatne površine, gama anomalije neznatnog intenziteta. Zbog toga se one ne uočavaju, ne samo pri prospekciji iz vazduha, nego ni pri poludetaljnoj pešačkoj gama prospekciji.

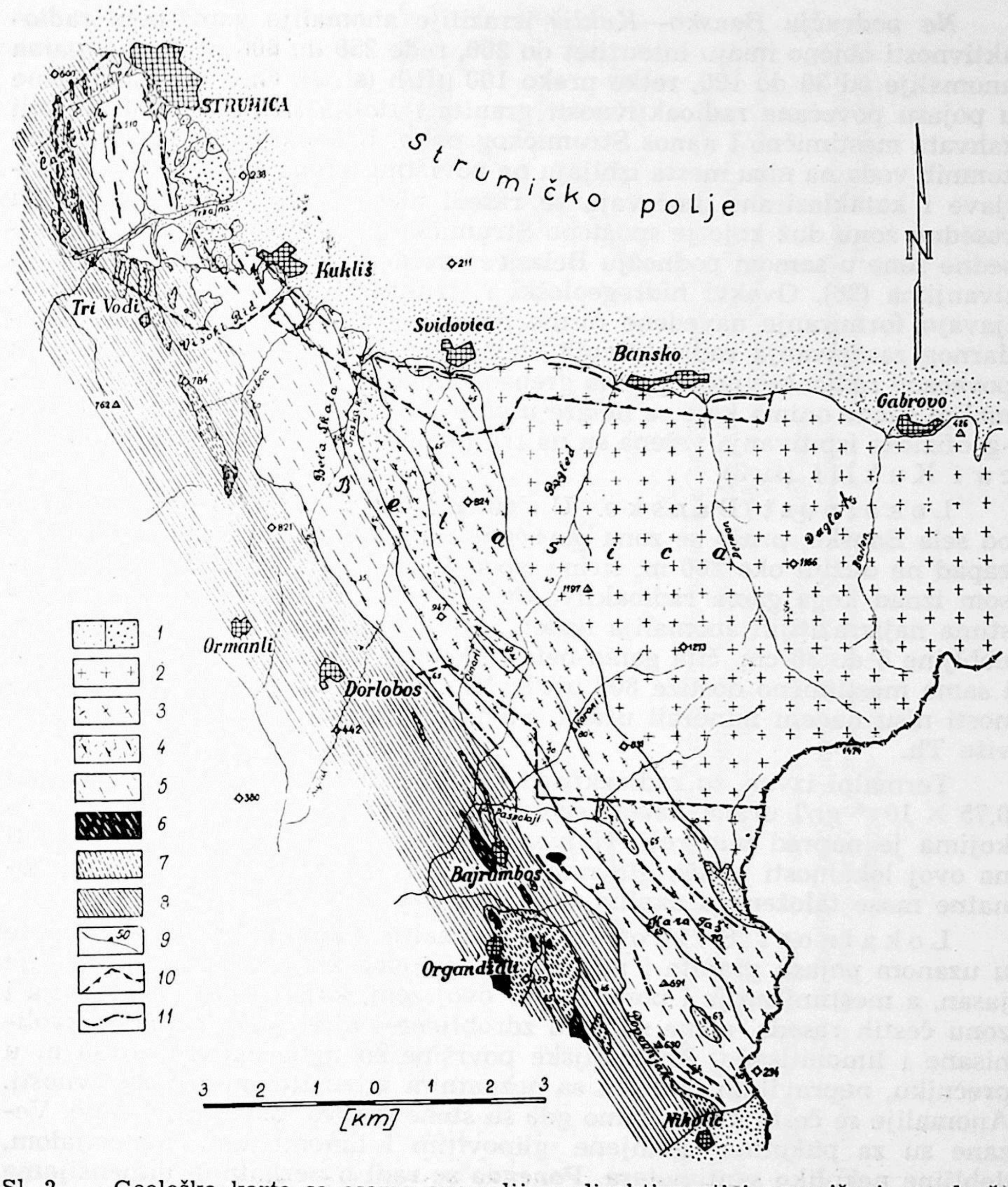
Poludetaljna i detaljna istraživanja

Kao što je u prethodnom odeljku iznešeno, rezultati svih vidova regionalne prospekcije ukazuju da je u pogledu uranonosnosti najinteresantniji pojas škriljavih i feldspatiziranih riolita, uključujući i neke delove severoistočno od njega. Pojas riolita Plačkovice obuhvaćen je u fazi poludetaljnih geološko-geofizičkih ispitivanja na celoj površini od 32 km², dok je nastavak ovog pojasa stena na Belasici, koji zauzima površinu od 61 km², istim ispitivanjima zahvaćen na oko 40% ove površine (sl. 1).

Razmera navedenih ispitivanja iznosi 1 : 5.000 do 1 : 10.000. U ovoj fazi, paralelno sa geološkim kartiranjem, primenjene su uglavnom gama-beta i gama metode. Pri detaljnim ispitivanjima, koja su vršena obično u razmerama 1 : 1.000 i 1 : 2.000, pored navedenih radiometrijskih metoda, korišćena je i emanaciona metoda. Obično je primenjivana u vidu kartiranja, a samo delimično izvođeno je i sondiranje. Od ostalih geofizičkih metoda, u manjoj meri primenjene su električne (SP, VP i SEO), magnetna i gravimetrijska metoda.

Provera rezultata geološko-geofizičkih ispitivanja, u manjem ili većem obimu, vršena je na svim lokalnostima, gde su ova obavljena. U širem obimu vršeno je raskopavanje, dok su podzemni rudarski radovi i istražno bušenje izvođeni samo na nekim lokalnostima. Paralelno sa izvođenjem detaljnih istražnih radova, vršena su i odgovarajuća laboratorijska, pretežno radiometrijska i mineraloško-petrografska ispitivanja.

U rejonu planine Belasice, poludetaljna ispitivanja su vršena u okviru tri područja *Bansko—Kukliš, Nikolić—Bajrambos* i *Kukliš—Strumica* (sl. 2). Otkrivene su mnogobrojne anomalije radioaktivnosti. Njihov prostorni raspored ukazuje na izvesnu opštu razliku između prvog i ostala dva područja. Naime, u prvom slučaju ose anomalija upadljivo prate izohipse duž severnog podnožja Belasice, uz samo Strumičko polje, i približno su upravne na škriljavost granita ili folijaciju riolita, dok u drugom slučaju položaj osa anomalija je uglavnom paralelan folijaciji škriljavih i feldspatiziranih riolita. Ovakva površinska manifestacija rasporeda radioaktivnih elemenata već na prvi pogled ukazuje na glavne kontrolore sekundarnih oreola rasejavanja urana — hidrogeološke prilike, škriljavost i tektonika.



Sl. 2. — Geološka karta sa osama anomalija radioaktivnosti i ograničenim područjima gde su vršena poludetaljna radiometrijska ispitivanja u oblasti Belasice.
1 — Bujični i terasni sedimenti; — 2 — granit; 3 — sitnozrni feldspatizirani riolit; 4 — krupnozrni feldspatizirani riolit; 5 — škriljavi riolit; 6 — mikrodiorit; 7 — amfibolit; 8 — filit i kalkšist; 9 — folijacija; 10 — područja gde su vršena poludetaljna radiometrijska ispitivanja; 11 — osa anomalija radioaktivnosti.

Fig. 2. — Geological map with anomaly axes of radioactivity and outlined areas where semi-detailed radiometric investigations have been carried out in Belasica region.
1 — Flood and terrace sediments; 2 — granite; 3 — fine — grained fedspathized rhyolite; 4 — coarse — grained feldspathized rhyolite; 5 — schistose rhyolite; 6 — microdiorite; 7 — amphibolite; 8 — phyllite and calcschist; 9 — foliation; 10 — areas covered by semi — detailed radiometric investigations; 11 — anomaly axis of radioactivity.

Na području Bansko—Kukliš izrazitije anomalije gama-beta radioaktivnosti obično imaju intenzitet do 200, ređe 250 do 800 μR/h, dok gama anomalije od 30 do 100, retko preko 100 μR/h (sl. 3). One su raspoređene u pojasu povećane radioaktivnosti granita i riolita širine do 500 m, koji zahvata mestimično i nanos Strumičkog polja. U ovom pojasu izdani podzemnih voda na nizu mesta izbijaju na površinu terena, stene su jako škriljave i kataklazirane, uočavaju se rasedi nižeg reda, koji prate glavnu rasednu zonu duž koje je spušteno Strumičko polje. Blizina pomenute rasedne zone u samom podnožju Belasice utvrđena je gravimetrijskim ispitivanjima (26). Ovakvi hidrogeološki i strukturno-geološki odnosi uslovljavaju formiranje navedene forme površinskog rasporeda oreola sekundarnog rasejavanja radioaktivnih elemenata. Idući od pomenutog pojasa povećane radioaktivnosti prema grebenu Belasice, retko se nailazi na anomalije slične onima koje se nalaze unutar ovog pojasa. Detaljna geološko-geofizička ispitivanja vršena su na tri lokalnosti: B a n s k o, S v i d o v i c a i K u k l i š (sl. 3).

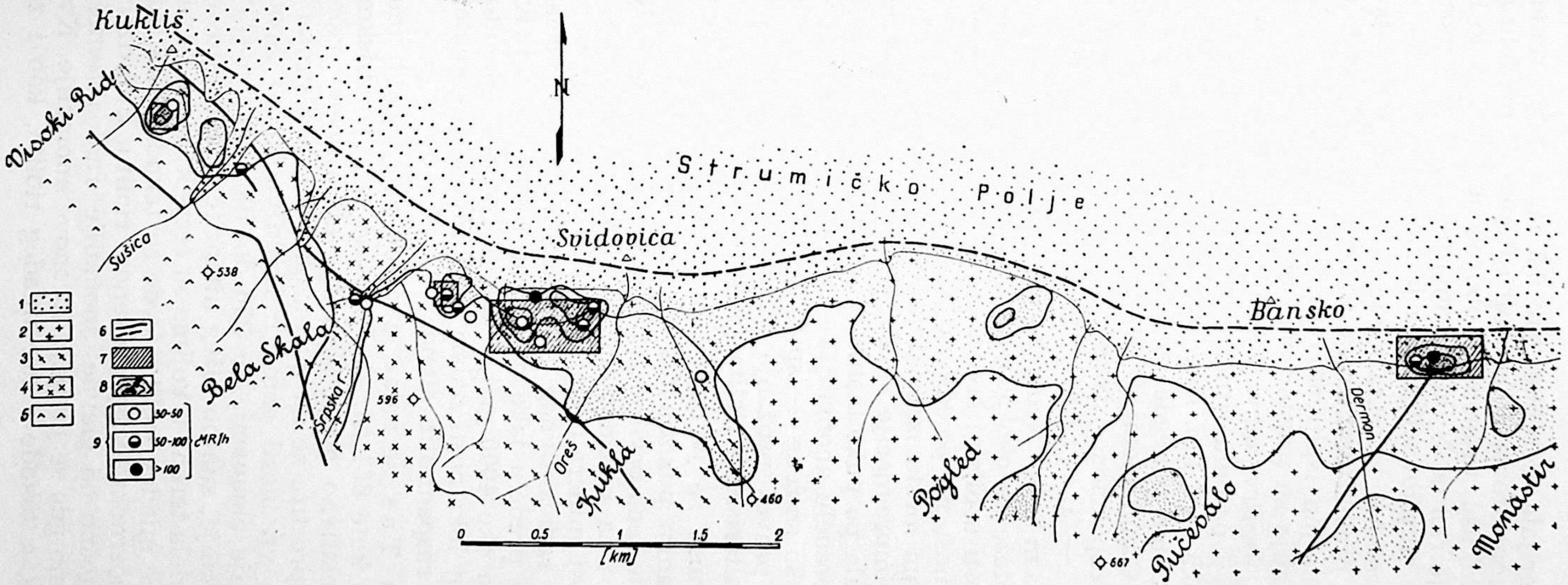
L o k a l n o s t B a n s k o. U domenu termalnih izvora, jugoistočno od sela Bansko, pruža se zona povećane radioaktivnosti u pravcu istok—zapad na dužini oko 200 m, širine ispod 10 m. Teren je prekriven humusom iznad koga gama radioaktivnost varira od 10 do 180 μR/h. Na mestima najizrazitijih anomalija nađen je sloj bigrovite, limonitisane stene, debljine 5 do 30 cm, čija gama-beta radioaktivnost iznosi 50 do 150 μR/h i samo mestimično dostiže 800 μR/h. Ni na mestima najvećih radioaktivnosti nisu nađeni minerali urana. Stena sadrži oko 12 gr/t U i šest puta više Th.

Termalni izvori su radioaktivni i sadrže Rn, a u vodi ima svega oko $0{,}75 \times 10^{-6}$ gr/l urana. Izvori su svakako vezani za mlađe dislokacije, o kojima je napred bilo reči. Najverovatnije da anomalije radioaktivnosti na ovoj lokalnosti potiču glavnim delom od radijuma vezanog za karbonatne mase taložene u okolini termalnih izvora.

L o k a l n o s t S v i d o v i c a. Anomalije radioaktivnosti grupišu se u uzanom pojasu granita i riolita duž njihovog kontakta (sl. 3) koji nije jasan, a mestimično je i postupan. U ovoj zoni, koja ujedno predstavlja i zonu čestih raseda, stene su jako zdrobljene i alterisane, najčešće kaolinisane i limonitisane. Anomalijske površine su male oko 10 do 30 m u prečniku, nepravilnih oblika i sa neznatnim intenzitetom radioaktivnosti. Anomalije se često nalaze tamo gde su stene gotovo sasvim ogoličene. Vezane su za pukotine ispunjene glinovitim i limonitiskim materijalom, debljine nekoliko santimetara. Ponegde se radi o neznatnim dimenzijama limonitisanih partija granita.

Gama-beta radioaktivnost varira od 50 do 170 μR/h, a samo na nekim mestima dostiže oko 200 do 600 μR/h. Sadržaji urana se kreću od 100 do 300 gr/t. Nekontinuiranost pojava i karakter stena sa povećanom radioaktivnošću očigledno ukazuje na descendentno obogaćenje uranom limonita i kaolinita.

L o k a l n o s t K u k l i š. Južno i jugoistočno od sela Kukliša otkriveno je nekoliko anomalija, čiji intenzitet gama zračenja ne prelazi 100 μR/h (sl. 3). Vezane su za kaolinsko-limonitski materijal kataklaziranih i alterisanih škriljavih i feldspatiziranih riolita. Na desnoj obali reke Sušice nalazi se rased, koji se uočava preko radioaktivnog rasednog, glino-



Sl. 3. — Geološko-radiometrijska karta područja Bansko-Kukliš (Prema podacima M. Jakovljević, N. Vukšić i dr.).
1 — Bujični nanosi; 2 — granit; 3 — sitnozrni feldspatizirani riolit; 4 — krupnozrni feldspatizirani riolit; 5 — škriljavi riolit; 6 — rasedne linije; 7 — detaljno ispitana lokalnost; 8 — gama — beta izorade (μR/h); 9 — anomalije gama radioaktivnosti.

Fig. 3. — Geological — radiometric map of Bansko-Kukliš area.
1 — Flood sediments; 2 — granite; 3 — fine — grained feldspathized rhyolite; 4 — coarse — grained feldspathized rhyolite; 5 — schistose rhyolite; 6 — fault lines; 7 — locality covered by detailed investigations; 8 — gamma-beta ray isolines (μR/h); 9 — gamma ray anomalies.

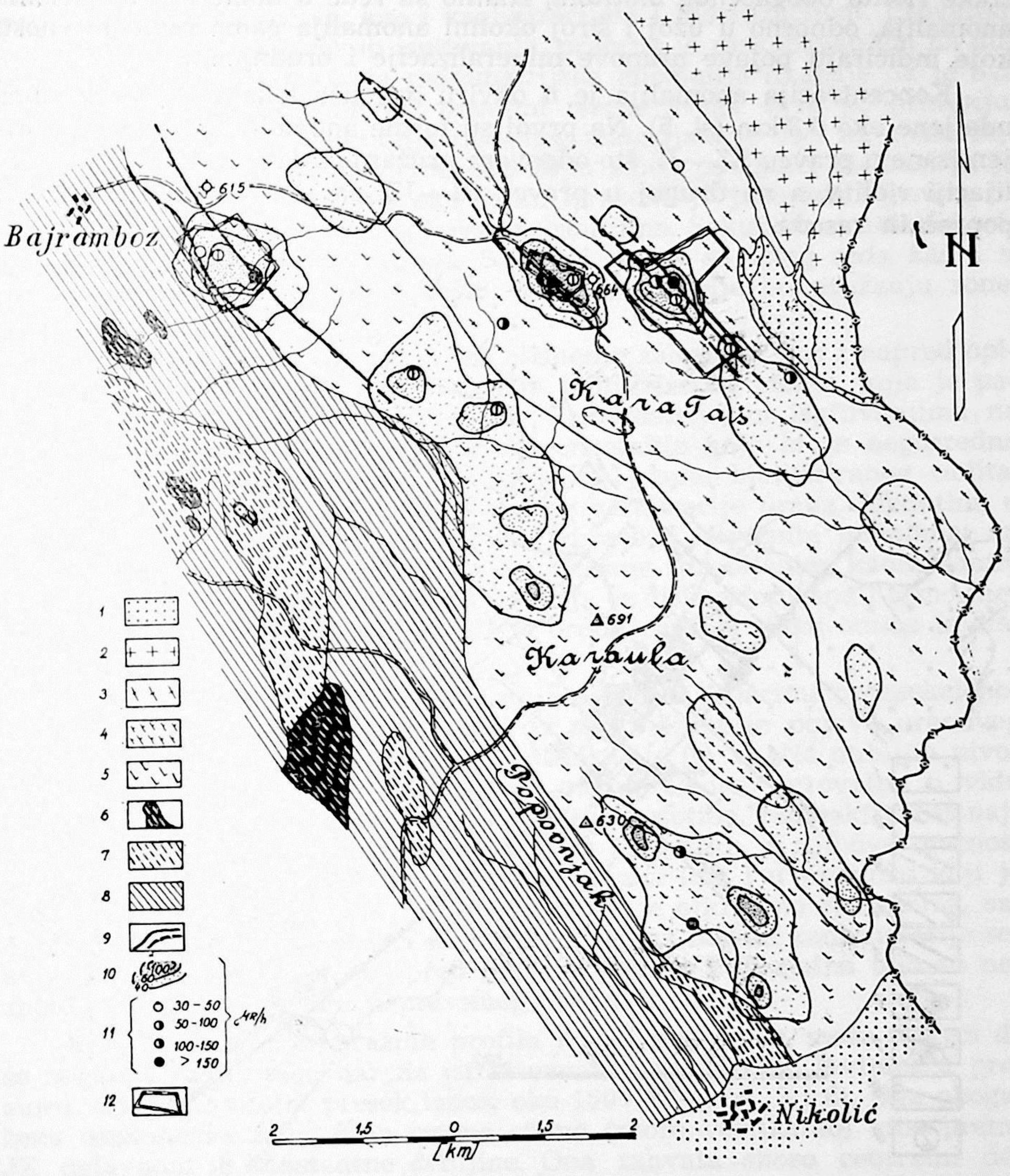
vitog, hematitiziranog materijala debljine oko 0,5 m. U primercima sa najvećom radioaktivnošću konstatovan je autunit i fluorit. U predelu anomalije koja je bliže selu Kuklišu, uranom su obogaćene polomljene i intenzivno limonitisane partije riolita. Njihova gama-beta radioaktivnost ne dostiže 100 μR/h, a okolnih silifikovanih riolita je ispod 50 μR/h.

Područje Nikolić—Bajrambos zahvata krajnji jugoistočni deo pojasa riolita, koji se dalje u tom pravcu produžava u Grčku (sl. 2). Zbog teške prohodnosti terena, poludetaljna ispitivanja su izvođena samo duž potoka. Radiometrijske anomalije su prostorno raspoređene duž dva pojasa čije su širine oko 500 m(sl. 4). Prvi zahvata škriljave riolite duž kontakta sa paraserijom, a drugi je u predelu sitnozrnih feldspatiziranih riolita i udaljen je od granita oko 0.5 do 1 km. Intenzitet gama-beta anomalija je većinom ispod 200 μR/h. Samo ponegde su registrovane veće vrednosti koje ne prelaze 1500 μR/h. Gama anomalije takođe retko dostižu vrednosti oko 200 μR/h. Detaljni prospekciono-istražni radovi u ovom području vršeni su na dve lokalnosti — Bajrambos i Kara Taš (sl. 4).

Lokalnost Bajrambos. Nedaleko od istoimenog sela, u predelu škriljavih riolita, proteže se oko 500 m duga diskontinuirana anomalijska zona radioaktivnosti u blizini kontakta sa serijom filita i kalkšista. Gama-beta radioaktivnost na pojedinim tačkama varira od 100 do 300 μR/h, a samo na jednom mestu iznosi 1500 μR/h. Ovde se radi o sasvim lokalizovanoj pojavi impregnacije autunita u čvrstom silifikovanom riolitu, u vidu sitnih kristala po pukotinama. Koncentracije emanacije su oko 150—1000 emana. U predelu anomalijske zone radioaktivnosti, vrednosti električne otpornosti su snižene — ispod 30 ohm. Toj zoni odgovara sistem paralelnih raseda, pravca pružanja SZ—JI, kao i poprečnih na ove. Širina zdrobljenih i alterisanih riolita je do 50 m.

Anomalije radioaktivnosti se javljaju na malim površinama. Većinom odgovaraju limonitisanim pukotinama u riolitima. Sistemi ovakvih pukotina zahvataju površine reda prvih desetak kvadratnih metara. Negde su radioaktivnosti vezane i za neizmenjene riolite. Sadržaji urana nisu veći od 250 gr/t, a moćnost mineralizovanih partija je ispod 1 m. Neke od anomalija su posledica radioaktivnog glinovitog humusa, sa relativno svežim biljnim ostacima u predelu jako močvarne padine. Ra-ekvivalent u nekim primercima iznosi oko 4000 gr/t, dok U i Th nisu konstatovani. Najveći deo urana na ovoj lokalnosti nalazi se u limonitskoj materiji u pripovršinskim partijama raspadnutih stena.

Lokalnost Kara Taš se nalazi u predelu sitnozrnih feldspatiziranih riolita istočno od kote 664 (sl. 4). Površine sa anomalijskim poljem radioaktivnosti su relativno male. Najveća, obuhvaćena izoradom 20 μR/h i izoemanom 50, prostire se na dužini oko 120 m a široka je do 40 m (sl. 5). Maksimalne vrednosti gama radioaktivnosti su ispod 200 μR/h. Najveće koncentracije emanacije su 250 do 1000 emana (75% do 100% Rn). Toronove anomalije, znatno nižeg intenziteta, konstatovane su u riolitima severoistočnog dela terena u kojima su česte kvarcne i kvarcno-feldspatske žice, kao i žice mlađeg riolita. Ovde su takođe česta trakasta obogaćenja biotitom u sitnozrnom feldspatiziranom riolitu. Biotitizacija je naročito izražena severoistočno od glavne anomalije radioaktivnosti na ovoj lokalnosti i to baš tamo gde se javljaju toronove anomalije. Kvarcne i kvarcno-feldspatske žice, a takođe i žice mlađeg riolita, kao i zone—



Sl. 4. — Geološko-radiometrijska karta područja Nikolić — Bajrambos (Prema podacima M. Jakovljević, D. Vulović, N. Vukšić i dr).

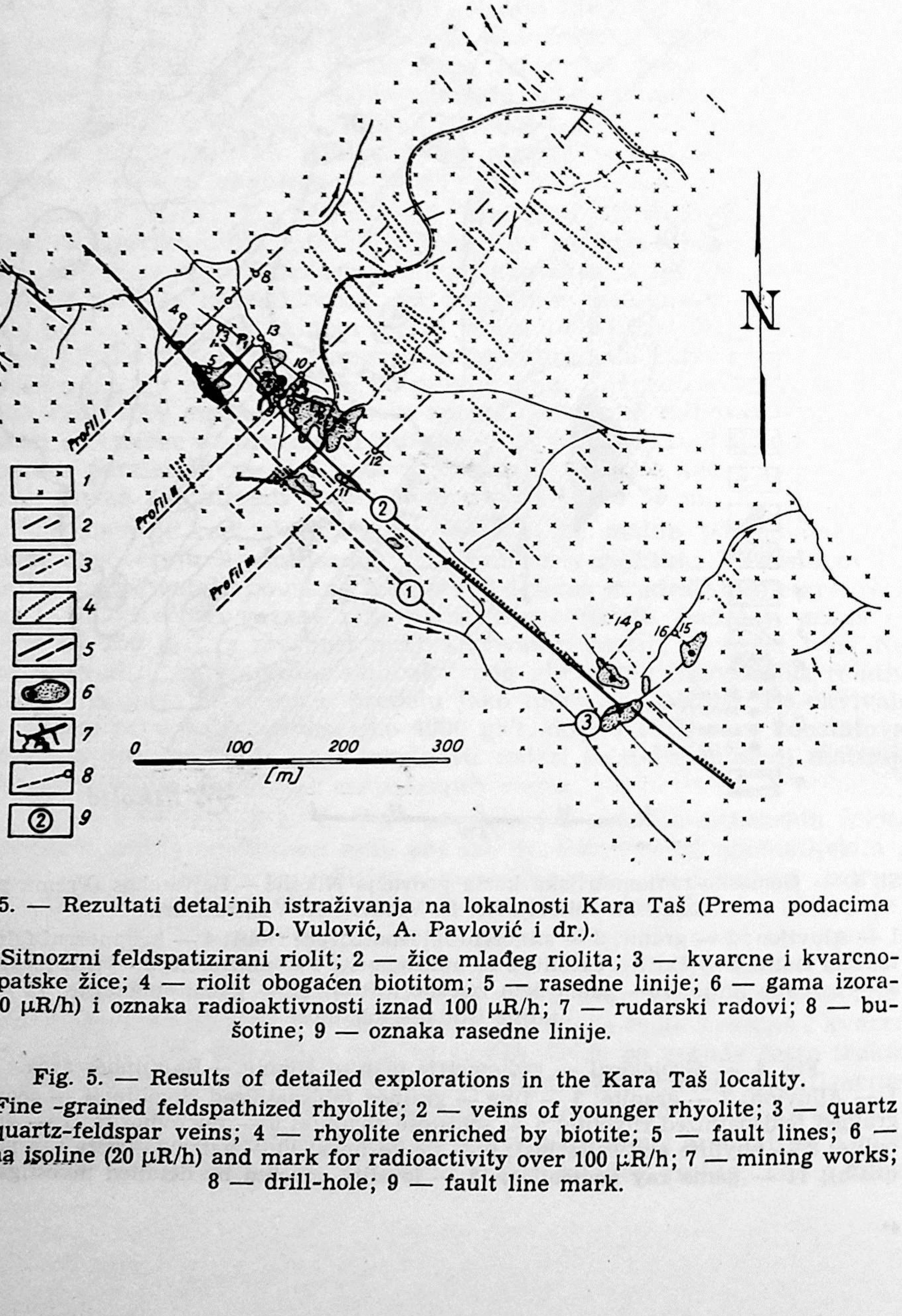
1 — Aluvijon; 2 — granit; 3 — sitnozrni feldspatizirani riolit; 4 — krupnozrni feldspatizirani riolit; 5 — škriljavi riolit; 6 — mikrodiorit; 7 — amfibolit; 8 — filit i kalkšist; 9 — rasedne linije; 10— gama-beta izorade (μR/h); 11 — gama anomalije; 12 — detaljno ispitana lokalnost.

Fig. 4. — Geological — radiometric map of Nikolić — Bajrambos area.

1 — Alluvion; 2 — granite; 3 — fine — grained feldspathized rhyolite; 4 — coarse — grained feldspathized rhyolite; 5 — schistose rhyolite; 6 — microdiorite; 7 — amphibolite; 8 — phyllite and calcschist; 9 — faulte lines; 10 — gamma — beta ray isolines (μR/h); 11 — gama ray anomalies; 12 — locality covered by detailed investigations.

trake riolita obogaćenog biotitom, znatno su ređe u domenu emanacionih anomalija, odnosno u užoj i široj okolini anomalija gama radioaktivnosti koje indiciraju pojave uranove mineralizacije i orudnjenja.

Koncentracija anomalija je u okviru dve uže lokalnosti, međusobno udaljene oko 0,3 km (sl. 5). Na prvoj su forme anomalijskih površina orijentisane u pravcu SZ—JI, što odgovara pružanju starijih raseda 1 i 2 i folijaciji riolita, a na drugoj u pravcu SI—JZ, saglasno pružanju mlađih, poprečnih raseda.



Sl. 5. — Rezultati detaljnih istraživanja na lokalnosti Kara Taš (Prema podacima D. Vulović, A. Pavlović i dr.).

1 — Sitnozrni feldspatizirani riolit; 2 — žice mlađeg riolita; 3 — kvarcne i kvarcno-feldspatske žice; 4 — riolit obogaćen biotitom; 5 — rasedne linije; 6 — gama izorada (20 μR/h) i oznaka radioaktivnosti iznad 100 μR/h; 7 — rudarski radovi; 8 — bušotine; 9 — oznaka rasedne linije.

Fig. 5. — Results of detailed explorations in the Kara Taš locality.

1 — Fine -grained feldspathized rhyolite; 2 — veins of younger rhyolite; 3 — quartz and quartz-feldspar veins; 4 — rhyolite enriched by biotite; 5 — fault lines; 6 — gamma isoline (20 μR/h) and mark for radioactivity over 100 μR/h; 7 — mining works; 8 — drill-hole; 9 — fault line mark.

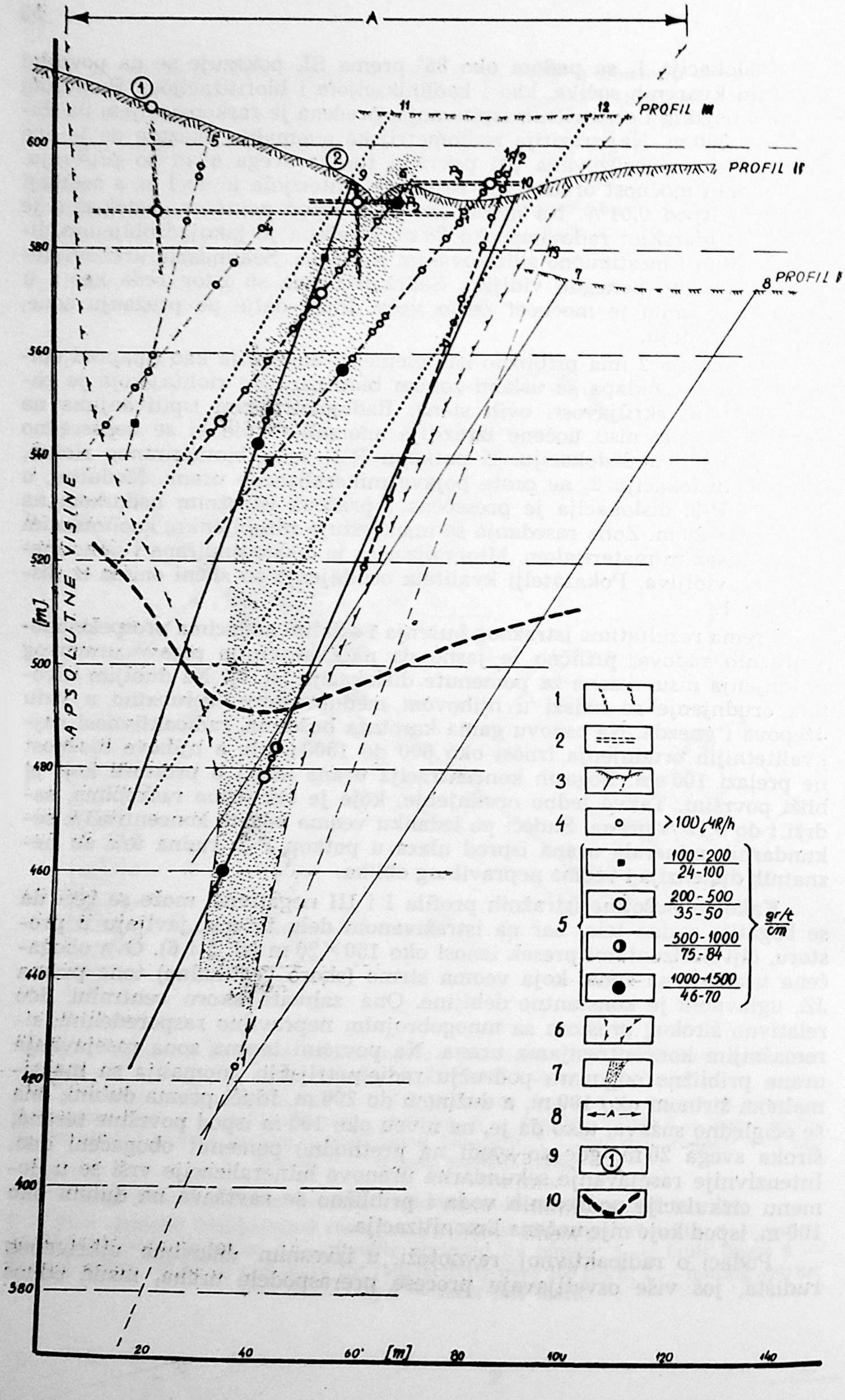
Dislokacija 1, sa padom oko 85° prema SI, pokazuje se na površini pojavom kvarcnih sočiva, kao i kaolinizacijom i hloritizacijom. Proverom radiometrijskih i električnih ispitivanja, praćena je raskopavanjem na dužini oko 230 m. Najizrazitija radiometrijska anomalija ukazuje da je ova dislokacija mineralizovana pri površini terena svega 40 m po pružanju. U tom delu moćnost orudnjenja rasednog materijala je do 1 m, a sadržaji urana su ispod 0,01%. Na nivou oko 20 m ispod površine, dislokacija je praćena rudarskim radovima oko 80 m. Izražena je jako zdrobljenim, limonitisanim i mestimično silifikovanim riolitima. Sekundarni uranovi minerali su samo ponegde vidljivi. Sadržaji urana su istog reda kao i u raskopima, samo je moćnost nešto veća. Idući dalje po pružanju zone, sadržaji opadaju.

Dislokacija 2 ima približno iste elemente zaleganja kao i napred opisana. Ona se poklapa sa uskom zonom biotitiziranog riolita, koja je paralelna ravni škriljavosti ovih stena. Radiometrijskim ispitivanjima na površini terena, nisu uočene izrazitije anomalije koje bi se neposredno odnosile na ovu dislokaciju. U potkopu P-1, zonu biotitiziranog riolita, odnosno dislokaciju 2, ne prate pojave mineralizacije urana. Međutim, u potkopu P-2, dislokacija je presečena i praćena istražnim hodnikom na dužini oko 20 m. Zona rasedanja se manifestuje zdrobljenim, kaolinisanim i limonitisanim materijalom. Mineralizacija je diskontinuirana i samo mestimično vidljiva. Pokazatelji kvaliteta orudnjenja su slični onima iz dislokacije 1.

Prema rezultatima istražnog bušenja i ostalim podacima prospekciono-istražnih radova, prilično je jasno da najkvalitetnije pojave uranovog orudnjenja nisu vezane za pomenute dislokacije (sl. 6). Na dubljim nivoima orudnjenje se nalazi u njihovom međuprostoru, verovatno u vidu džepova i gnezda. Na osnovu gama karotaža bušotina, radioaktivnost najkvalitetnijih orudnjenja iznosi oko 600 do 1500 μR/h, a njihova moćnost ne prelazi 100 cm. Bogatih koncentracija urana ima i u prostoru koji je bliži površini. Takvo jedno orudnjenje, koje je otkriveno raskopima, sadrži i do 0,12% urana. Sudeći po izdanku veoma bogate koncentracije sekundarnih minerala urana ispred ulaza u potkop P-2 ,rudna tela su neznatnih dimenzija i veoma nepravilnog oblika.

Kako su bušotine istražnih profila I i III negativne, može se reći da se bogatija rudna tela, bar na istraživanom delu terena, javljaju u prostoru, čiji horizontalni presek iznosi oko 150×20 m (sl. 5 i 6). Ova obogaćena uranonosna zona, koja veoma strmo (skoro vertikalno) tone prema JZ, uglavnom je konstantne debljine. Ona zahvata skoro centralni deo relativno širokog prostora sa mnogobrojnim nepravilno raspoređenim, siromašnijim koncentracijama urana. Na površini terena zona rasejavanja urana približno odgovara području radiometrijskih anomalija sa maksimalnom širinom oko 100 m, a dužinom do 200 m. Idući prema dubini, ona se očigledno sužava, tako da je, na nivou oko 100 m ispod površine terena, široka svega 20 m, gde se svodi na prethodno pomenut obogaćeni deo. Intenzivnije rasejavanje sekundarne uranove mineralizacije vrši se u domenu cirkulacije podzemnih voda i približno se završava na dubini oko 100 m, ispod koje nije uočena limonitizacija.

Podaci o radioaktivnoj ravnoteži, u izvesnim delovima otkrivenog rudišta, još više osvetljavaju procese preraspodele urana, mada odnos


A
PROFIL III
PROFIL II
PROFIL I
APSOLUTNE VISINE [m]
600
580
560
540
520
500
480
460
440
420
400
380
20
40
60
80
100
120
140
[m]
1
2
3
4
>100 µR/h
5
100-200 / 24-100
200-500 / 35-50
500-1000 / 75-84
1000-1500 / 46-70
gr/t / cm
6
7
8
9
10

Ra/U za pojedine delove orudnjenja, ne mora da bude veran pokazatelj stvarnog ravnotežnog stanja za celo rudište. U 26 proba iz dislokacije 1, koeficijent radioaktivne ravnoteže iznosi prosečno 180% dok u 8 proba iz okolnih delova iznosi samo 74%, što govori o premeštanju urana iz žica ili drugih primarnih koncentracija van nje. U dislokaciji 2, kao i u gnezdima sa sekundarnim mineralima urana, ovaj koeficijent iznosi 81% (13 proba), odnosno 76% (11 proba). U predelu potkopa 3 i najbližeg raskopa, ravnoteža je neznatno pomerena u korist radijuma (K=119%) i to u bogatijim partijama. U istom prostoru, na dubinama većim od 100 m i van domena limonitizacije, radioaktivna ravnoteža je osetno pomerena u korist radijuma (K=170%), tako da se i ovde može govoriti o cirkulaciji podzemnih voda koje su i na ovoj dubini ispirale uran.

Dislokacija 3 se pruža upravno na ranije opisane i pada pod uglom 70° prema SZ (sl. 5). Manifestuje se u vidu zone brečiziranog, silifikovanog i limonitisanog riolita. U ostalom njenom delu, tamo gde nema ovog riolita, osnovna stena je duž razloma kaolinisana, hloritisana i limonitisana. Izrazitije anomalije radioaktivnosti otkrivene su u domenu riolitske breče. Tu se nalaze vidljive, nepravilne koncentracije autunita i ljubičastog fluorita. Pokazatelji kvaliteta orudnjenja su lošiji od otkrivenih rudnih tela u domenu dislokacija 1 i 2. Istražnim bušenjem u dubljim nivoima nije nađena uranova mineralizacija.

Zapadno od kote 664 (sl. 4) primenom emanacione metode otkrivena je diskontinuirana anomalijska zona koncentracije emanacije na dužini od 250 m, širine do 70 m. Polje se pruža u pravcu folijacije u zoni limonitisanih i delimično silifikovanih riolita. Sasvim lokalno maksimalne koncentracije emanacije iznose 250 emana sa oko 70% radona. Uran je vezan za limonitisane delove stena, bez pojava sekundarnih minerala urana koje se sreću istočno od kote 664. Limonitisane partije su malih dimenzija, bez međusobnih veza i sa neznatnim sadržajima urana (od 60 do 600 gr/t).

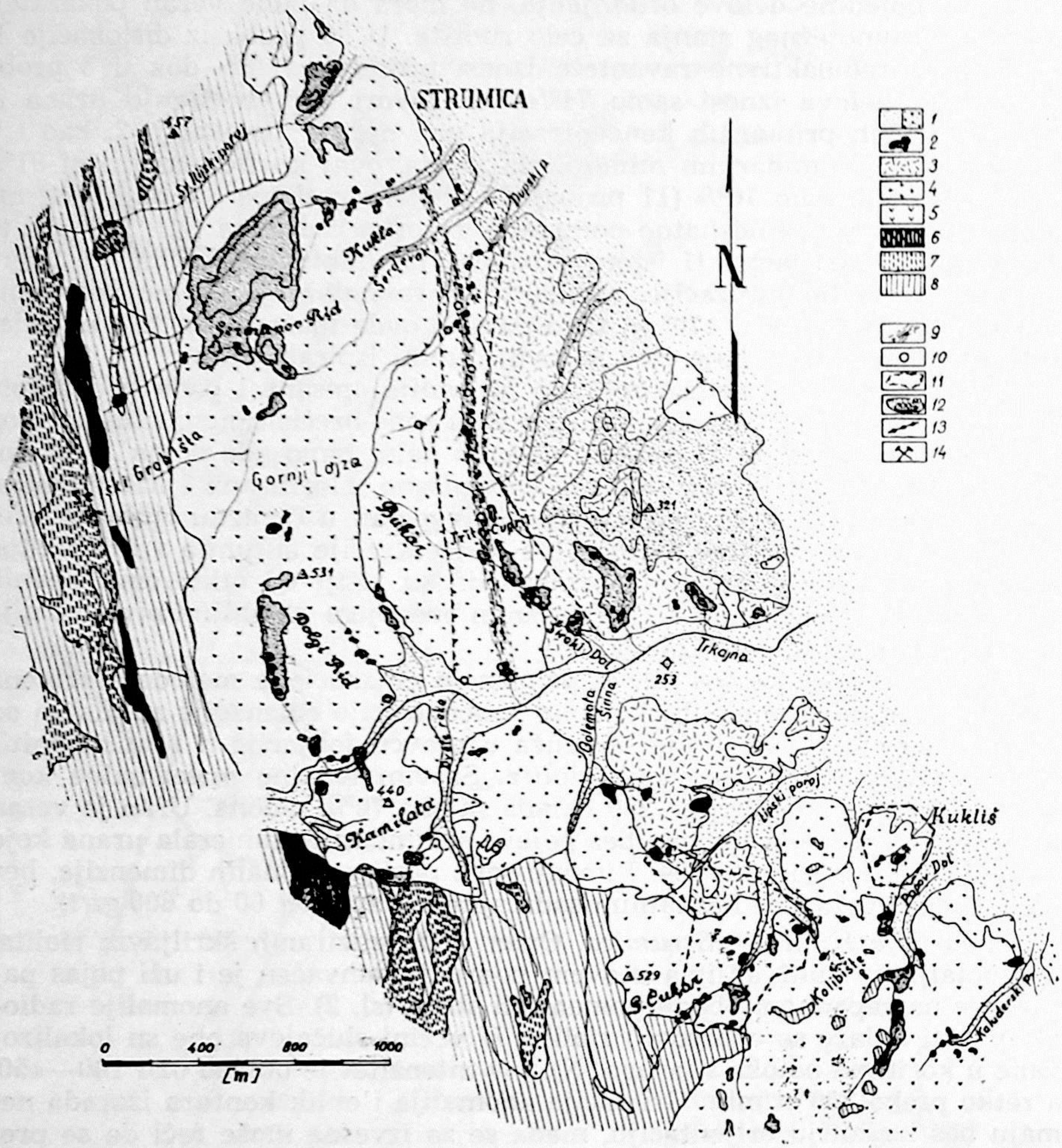
Područje Kukliš — Strumica. Osim feldspatiziranih škriljavih riolita, poludetaljnim ispitivanjima u ovom području zahvaćen je i uži pojas paraserije na zapadnom obodu pomenutih stena (sl. 2). Sve anomalije radioaktivnosti nalaze se u predelu riolita. U većini slučajeva one su lokalizovane u koritima potoka i jaruga. Njihov intenzitet je obično oko 100—150, a retko preko 200 ot/min. Grupacija anomalija i oblik kontura izorada nemaju baš izrazitiju orijentaciju, mada se za izvesne može reći da se prostiru saglasno opštem pravcu pružanja geoloških formacija.

Sl. 6. — Rezultati rudarskih istražnih radova i bušenja na lokalnosti Kara Taš (Prema podacima D. Vulović, A. Pavlović i dr.).

1 — Rased; 2 — rudarski radovi; 3 — bušotina; 4 — pikovi gama karotaža koji nisu kvantitativno interpretirani; 5 — pokazatelji kvaliteta orudnjenja urana; 6 — zona rasejavanja urana; 7 — zona u kojoj se pojavljuje najkvalitetnije orudnjenje urana; 8 — maksimalna širina anomalije gama radioaktivnosti na površini terena; 9 — oznaka istraživane dislokacije; 10 — dubina do koje dopire limonitizacija.

Fig. 6. — Results of mining and drilling exploratory works in the Kara Taš locality.

1 — Fault; 2 — mining works; 3 — drill-hole; 4 — gamma ray anomalies (logging) that have not been quantitatively interpreted; 5 — marks showing principal data of uranium ore quality; 6 — zone of uranium dissemination; 7 — zone with the best uranium ore; 8 — maximal width of gamma ray anomaly on the surface; 9 — mark of explored dislocation; 10 — depth of limonitization.



Sl. 7. — Geološko-radiometrijska karta područja Kukliš—Strumica (Prema podacima M. Jakovljević, N. Mihajlović, Lj. Vuković, V. Ćetković, R. Nedimović, V. Simić, N. Vukšić i dr.).

1 — Bujični i terasni sedimenti; 2 — naslage gipsa; 3 — sitnozrni feldspatizirani riolit; 4 — krupnozrni feldspatizirani riolit; 5 — škriljavi riolit; 6 — mikrodiorit; 7 — amfibolit; 8 — filit i kalkšist; 9 — rasedna zona Đupski Poroj; 10 — pojava bakra; 11 — detaljno ispitane površine primenom radiometrijskih i električnih metoda; 12 — gama izorade (ot/min); 13 — osa anomalija prirodnog eletričnog polja; 14 — rudarski radovi.

Fig. 7. — Geological-radiometric map of Kukliš—Strumica area.

1 — Flood and terrace sediments; 2 — gypsum accumulations; 3 — finegrained feldspathized rhyolite; 4 — coarse-grained feldspathized rhyolite; 5 — schistose rhyolite; 6 — microdiorite; 7 — amphibolite; 8 — phyllite and calcschist; 9 — Đupski Poroj fault zone; 10 — copper occurrances; 11 — localities cevered by detailed radiometric and electrical investigations; 12 — gamma ray isolines (p/min); 13 — anomaly axis of spontaneous potential; 14 — mining works.

Najveći broj anomalija nalazi se u domenu škriljavih riolita, a najizrazitije su u predelu Markovi Koli i Germanov Rid (sl. 7). Ovde jedna od anomalija zahvata površinu (izorada 100 ot/min) oko 600×200 m, a intenzitet radioaktivnosti mestimično iznosi preko 200 ot/min. Konstatovano je da se ovde radi o pojavi izrazito silifikovanih riolita sa znatnim sadržajem kalijuma (15%) i nešto povećanim sadržajem urana (15—20 gr/t). Isto se može reći za riolite na ostalim lokalnostima ovog područja gde anomalije zahvataju veće površine. Ostale anomalije, manjih razmera, čiji intenzitet gama radioaktivnosti ne prelazi 150 ot/min, vezane su obično za alterisane partije riolita sa pojavom izrazitije limonitizacije duž prslina i pukotina. Treba naglasiti da nijedna anomalija u predelu škriljavih riolita nije detaljno radiometrijski ispitivana.

Na delu terena, u čiji geološki sastav ulaze feldspatizirani riolit, otkriven je mali broj anomalija koje pojedinačno zauzimaju vrlo uske površine, ali mestimično imaju znatan intenzitet radioaktivnosti (200 do 600 ot/min). Najveći broj takvih anomalija nalazi se u domenu izrazitijih rasednih zona, gde se jasno uočavaju hidrotermalno izmenjeni rioliti. Anomalije su lokalizovane na rasede, koji se indiciraju preko izdanaka gline u vidu žica, čija je debljina najčešće ispod 20 cm. Takve pojave mineralizacije urana konstatovane su na lokalnostima Đupski Poroj, Široki Dol, Ormanlijeva Spila itd.

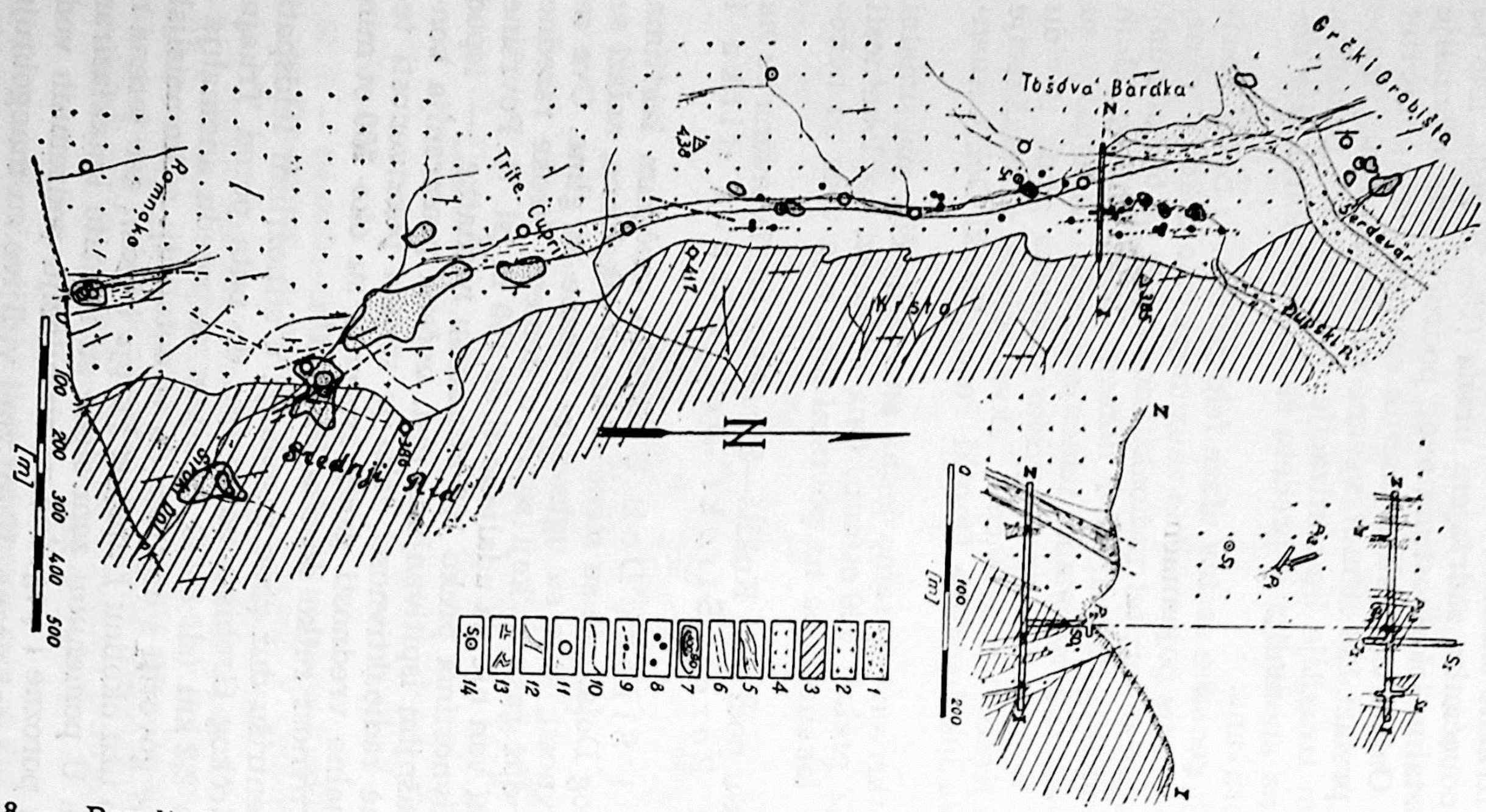
U ovom području otkrivena je samo jedna anomalija čiji maksimalni intenzitet gama zračenja prelazi 600 ot/min. Ona se nalazi na lokalnosti Bizava Ritka i strogo je lokalizovana na površini koja nije veća od nekoliko kvadratnih metara.

Detaljna ispitivanja u području Kukliš—Strumica (sl. 7) vršena su na lokalnostima Đupski Poroj, Široki Dol, Bizava Ritka i Lipski Poroj.

Đupski Poroj i Široki Dol. U duboko usečenim koritima Đupskog Poroja i Širokog Dola, gde su stene većinom otkrivene, nalazi se niz anomalija radioaktivnosti, koje su uglavnom vezane za gline. Ove se pojavljuju u vidu žica duž raseda, koji su ili u domenu široke rasedne zone Đupski Poroj, ili su van nje na udaljenosti do 150 m (sl. 7). Površine sa anomalnim radioaktivnostima preko 100 ot/min su neznatne — ispod 50×30 m. Dakle, dosadašnjim ispitivanjima nisu uočena prostranija kontinualna polja anomalne radioaktivnosti, iako je stepen pokrivenosti terena neznatan. Maksimalne vrednosti gama zračenja su oko 200 ot/min, dok gama-beta radioaktivnost retko dostiže 500 μR/h.

Anomalije se koncentrišu duž zone rasedanja u sitnozrnim feldspatiziranim riolitima od Grčkog Grobišta na severu do puta pored Trkajne na jugu, na dužini oko 2,2 km (sl. 8). O tačnijem rasporedu anomalija u tom domenu ne može se govoriti s obzirom da je detaljniji radiometrijski premer obuhvatio samo užu okolinu Đupskog Poroja i jedan deo terena na jugu anomalijske zone. U pomenutoj zoni stene su izrazito kataklazirane i alterisane. Veoma su porozne i pogodne za cirkulaciju podzemnih voda, ispiranje i naknadni razmeštaj urana. U toj zoni vidljive su mnogobrojne pojave sekundarnih minerala bakra. Na mestima pojava Cu mineralizacije, nisu uočene značajnije anomalije radioaktivnosti.

Na osnovu rezultata primene metode sopstvenog potencijala, konstatovano je da se u domenu zone rasedanja pojavljuju tri lokalna minimu-



Sl. 8. — Rezultati detaljnih istraživanja na lokalnosti Đupski Poroj—Široki Dol (Prema podacima M. Jakovljević, M. Obrenović, N. Miladinović i dr.).
1 — Aluijum; 2 — sitnozrni feldspatizirani riolit; 3 — krupnozrni feldspatizirani riolit; 4 — škriljavi riolit; 5 — rasedna zona Đupski Poroj; 6 — rasedne linije; 7 — gama anomalije (ot/min); 8 — gama-beta anomalije (preko 20 μR/h); 9 — osa anomalija radioaktivnosti (raskopima praćene žice gline); 10 — osa minimuma prirodnog električnog polja; 11 — pojave bakra; 12 — zona kvarcnih žica sa sulfidima i pehblendom; 13 — rudarski radovi; 14 — bušotina.

Fig. 8. — Results of detailed explorations in the Đupski Porej — Široki Dol locality.
1 — Alluvion; 2 — fine-grained feldspathized rhyolite; 3 — coarse — grained feldspathized rhyolite; 4 — schitose rhyolite; 5 — Đupski Paroj fault zone; 6 — fault lines; 7 — gamma ray anomalies (p/min); 8 — gamma — beta ray anomalies (over 20 μR/h); 9 — anomaly axis of radioactivity (clay veins traced by tranching); 10 — axis of self — potential anomalies; 11 — copper occurrences; 12 — zone of quartz veins with sulphides and pitchblende; 13 — mining works; 14 — drill-hole.

ma (oko —100 mV). Svakako da se ovde radi o efektima izazvanim intenzivnijom piritizacijom. Kako se u užoj okolini minimuma sopstvenog potencijala ne uočavaju anomalije radioaktivnosti, verovatno da oni ne ukazuju na pojave mineralizacije orudnjenja asocirane sa pomenutom piritizacijom.

Rudarski istražni radovi izvođeni su u predelu srednjeg toka Đupskog Poroja, gde je proverom anomalija radioaktivnosti raskopavanjem otkriven najveći broj uranonosnih žica gline za koje je utvrđeno da su hidrotermalnog porekla. Ovde je zona rasedanja široka i preko 150 m, skoro koliko iznosi i širina izdvojenih sitnozrnih feldspatiziranih riolita, između škriljavih riolita na zapadu i krupnozrnih feldspatiziranih riolita na istoku (sl. 8). Na dubini oko 50 m ispod nivoa potoka, istražnim hodnikom presečena je ova široka zona rasedanja pri čemu je konstatovano postupno i naizmenično smenjivanje sitnozrnih i krupnozrnih feldspatiziranih riolita. Krajnji zapadni deo hodnika, nakon prolaza kroz rasednu zonu Đupski Poroj (260/65), ulazi u riolite. U ostalom delu ovog hodnika konstatovano je nekoliko raseda, koji se manifestuju preko žica gline, od kojih su dva (80/70) praćena po pružanju, radi istraživanja orudnjenja urana vezanog za glinoviti, rasedni materijal. I ostali rudarski radovi bili su uglavnom orijentisani na područje radioaktivnih glina duž raseda (sl. 8).

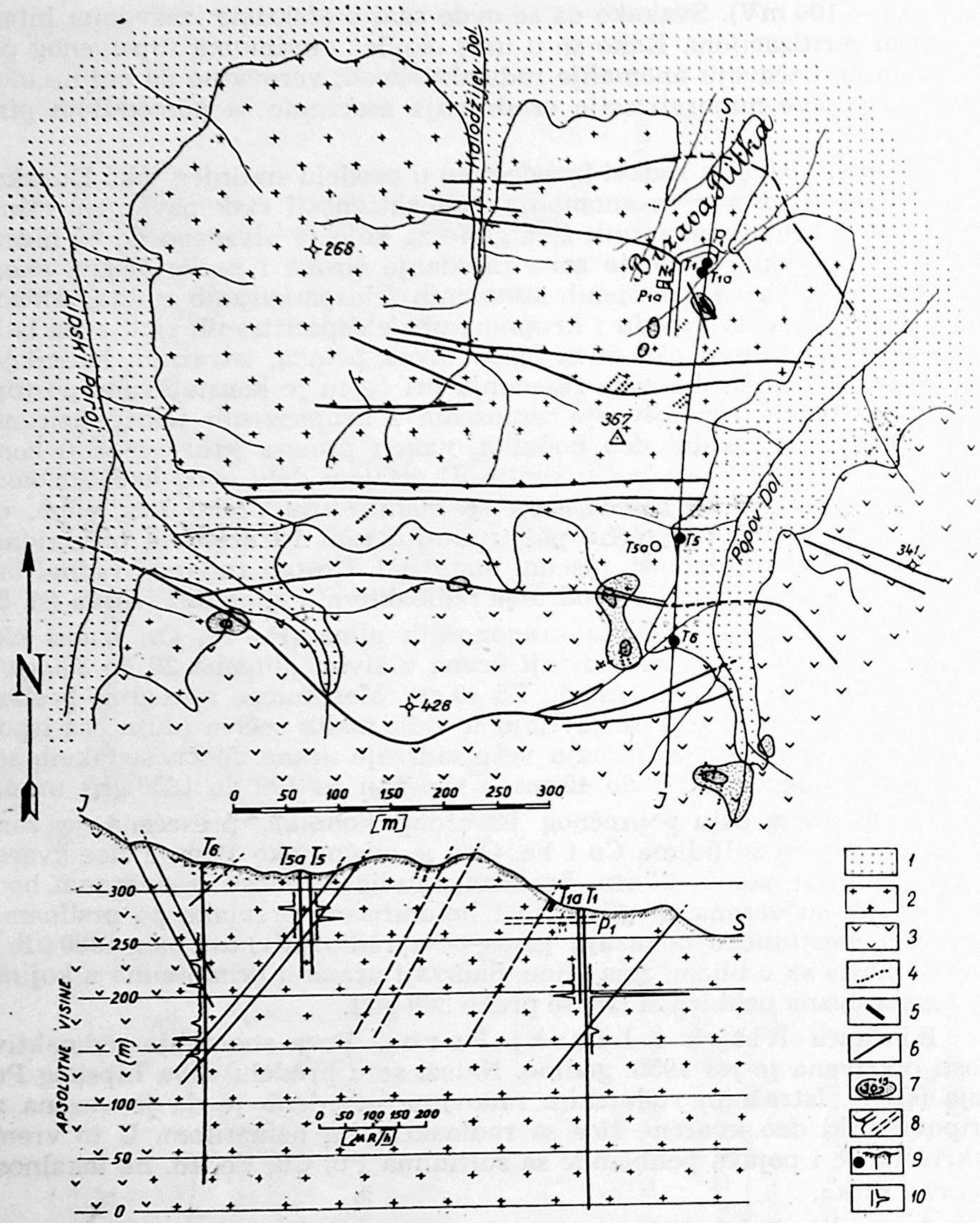
Ukupna dužina praćenja uranonosnih glina (P_1, P_2, O_1) iznosi oko 134 m. Utvrđeno je da su sadržaji urana u sivim glinama 20 do 330 gr/t, a njihova moćnost varira između 1 i 40 cm. Mestimično sive gline prelaze u crne, kompaktne, koje se javljaju u vidu malih sočiva (duža osa ispod 1 m) i koje skoro redovno imaju veće sadržaje urana. Moćnost takvih sočiva varira, takođe, od 1 do 40 cm, a sadržaji su 400 do 1350 gr/t urana.

U zapadnom delu poprečnog istražnog hodnika, presečena je zona kvarcnih žica sa sulfidima Cu i Fe. Ona je moćna oko 10 m, a žice kvarca imaju debljinu oko 5—10 cm. Povećanja radioaktivnosti u smernom hodniku (sl. 8) su vezana za glinovite i limonitisane prevlake po prslinama. Primerci mestimično pokazuju gama-beta radioaktivnost oko 1000 μR/h. Takva mesta su u blizini žica gline. Sadržaji urana u primercima u kojima je konstatovana pehblenda iznose preko 800 gr/t.

B i z a v a R i t k a i L i p s k i P o r o j. Prva anomalija radioaktivnosti otkrivena je još 1950. godine. Nalazi se u predelu sliva Lipskog Poroja (sl. 7). Istražnim rudarskim radovima utvrđeno je da je vezana za pripovršinski deo kvarcne žice sa radioaktivnim hematitom. U to vreme otkrivena je i pojava pehblende sa sulfidima Pb, Cu, Fe itd. na lokalnosti Bizava Ritka.

Anomalija je lokalizovana na vrlo maloj površini (sl. 9). Detaljnim ispitivanjima nisu uočena u okolini znatnija povećanja radioaktivnosti, mada je teren relativno ogolićen. Nešto južnije odavde, u fazi poludetaljnih ispitivanja, konstatovano je nekoliko anomalija malog intenziteta gama radioaktivnosti, ali raskopavanjima nisu otkrivene slične pojave.

Rudarskim istražnim radovima utvrđeno je da je radioaktivnost vezana za hematitiziranu salbandu (oko 10 cm) kvarcnog sočiva, čija je debljina do 1 m. Sočivo se isklinjava posle nekoliko metara ispod površine tako da potkopom P_1 nisu presečena nikakva značajnija povećanja radioaktivnosti. Okolni sitnozrni feldspatizirani rioliti su izrazito kataklazirani.



Sl. 9. — Rezultati detaljnih istraživanja na lokalnosti Bizava Ritka (Prema podacima M. Obrenović, R. Nedimović i dr.).
1 — Aluvijum; 2 — sitnozrni feldspatizirani riolit; 3 — škriljavi riolit; 4 — kvarcna žica; 5 — kvarcna žica sa mineralima Fe, Cu, Pb i pehblendom; 6 — rasedna linija; 7 — gama anomalije (μR/h); 8 — rudarski radovi; 9 — bušotina; 10 — dijagram gama karotaža.

Fig. 9. — Results of detailed explorations in the Bizava Ritka locality.
1 — Alluvion; 2 — rine-grained feldspathized rhyolite; 3 — schistose rhyolite; 4 — quartz vein; 5 — quartz vein with Fe, Cu, Pb minerals and pitchblende; 6 — fault line; 7 — gamma ray anomalies (μR/h); 8 — mining works; 9 — drill — hole; 10 — gamma ray logging diagram.

Sadržaj urana, čak i u primercima koji su uzeti iz radioaktivne salbande na površini, ne prelaze 1000 gr/t.

Isrtažnim bušenjem po profilu koji seče brojne rasede (sl. 9), utvrđeno je da su neznatna, lokalna obogaćenja urana vezana za alterisan, glinovit materijal. Samo u bušotini T-1 gama intenzitet dostiže oko 200 μR/h. Da se i ovde radi o lokalnim koncentracijama urana, ukazuju rezultati gama karotaža bušotine T-1$_0$, koja je locirana uz bušotinu T-1.

Ovde treba još napomenuti da su na lokalnosti Lipski Poroj (sl. 7) pored električnih ispitivanja vršena i raskopavanja na pojavama uranonosnih rasednih glina — Ormanlijeva Spila. Ustanovljeno je da su i ove pojave, s obzirom na pokazatelje kvaliteta orudnjenja, lokalnog karaktera i da diskontinuirano prate zonu rasedanja.

Rezimirajući dosadašnje rezultate prospekciono-istražnih radova u ovoj oblasti, osnovni zaključci bi se sastojali u sledećem:

U fazi regionalne prospekcije primenjivane su metode: gama-beta, hidrogeohemijska i aeroradiometrijska. Ovim ispitivanjima utvrđeno je da je u pogledu uranonosnosti od najvećeg interesa pojas feldspatiziranih i škriljavih riolita. U njemu su kao perspektivnija izdvojena uža područja: Nikolić—Bajrambos, Bansko—Kukliš i Kukliš—Strumica na Belasici i Podareš—Jargulica na Plačkovici.

Kako regionalnim tako i poludetaljnim ispitivanjima u ovim područjima otkrivene su mnogobrojne anomalije radioaktivnosti od kojih pojedine indiciraju pojave mineralizacije i orudnjenja urana. Selekcijom ovih pojava u fazi poludetaljnih geološko-radiometrijskih ispitivanja, okonturene su na Belasici najperspektivnije lokalnosti među koje spadaju: Bansko, Svidovica, Kukliš, Bajrambos, Kara Taš, Đupski Poroj, Široki Dol, Bizava Ritka i Lipski Poroj.

Pri detaljnim ispitivanjima nabrojanih lokalnosti korišćene su pored geoloških i radiometrijskih još i električne metode. Proverom rezultata dobijenih u fazi detaljnih geološko-geofizičkih izučavanja konstatovano je da se najkvalitetnija orudnjenja urana javljaju na lokalnostima Kara Taš, Đupski Poroj i Bizava Ritka.

Rudarskim istražnim radovima i bušenjem utvrđeno je sledeće: Na lokalnosti Kara Taš neravnomerno orudnjenje se javlja u zoni rasedanja i vezano je uglavnom za rasedni, trošni, glinovit materijal. Rudna tela su nepravilnih oblika i malih dimenzija. Sadržaji urana su većinom ispod 500 gr/t, ređe između 500 i 1000 gr/t, a samo mestimično preko 1000 gr/t. Debljina orudnjenog materijala je ispod 1 m, a u većem broju slučajeva ispod 0,5 m. Na lokalnosti Đupski Poroj, orudnjenja se takođe javljaju u zoni rasedanja, a vezana su za čvrste, sive i crne, rasedne gline, koje su u obliku žica i čije su debljine ispod 0,5 m. Sadržaji urana variraju većinom ispod 500 gr/t, a samo mestimično do 1500 gr/t. Na lokalnosti Bizava Ritka, orudnjenje je veoma usko lokalizovano za tanke hematitske salbande kvarcne žice koja se javlja u vidu malog sočiva. Sadržaji urana čak i u uzorcima su ispod 1000 gr/t.

Neophodno je istaći da su rudarski istražni radovi i bušenja izvođeni uglavnom u zoni oksidacije i intenzivne naknadne distribucije urana. Ova zona u rejonu Belasice dopire do znatne dubine, što najbolje pokazuje primer lokalnosti Kara Taš, gde ona zahvata orudnjenja na dubinama i ispod 100 m.

GENETSKI TIPOVI URANONOSNIH POJAVA

Sve pojave na Belasici, a prema dosadašnjim ispitivanjima i na Pljačkovici, mogu se prema načinu postanka podeliti u dve grupe i to:

a) *Hidrotermalne pojave.* Ovde, pre svega, dolazi pojava na Kara Tašu, gde su otkriveni hidrotermalni radioaktivni fluorit, hematit, pirit, kvarc, kalcit, barit i siderit. Ova asocijacija se nalazi u razlomu sa brečiziranim i silifikovanim riolitima najmlađe generacije, poprečno na pružanje folijacije feldspatiziranih, starijih, riolita (»granit-porfira«). Pojava u lokalnosti Bizava Ritka odlikuje se mnogo složenijom paragenezom u čijoj izgradnji učestvuju minerali olova, cinka, bizmuta i bakra, koji su takođe nastali uglavnom hidrotermalnim putem. Pehblenda koja se javlja u ovoj paragenezi mogla je takođe nastati hidrotermalnim putem. Opisana parageneza je posebno interesantna zbog pojave niza retkih minerala, pre svega bizmutovih, kao što su vitihenit, matildit, ajkinit, teluridi bizmuta i dr. (D. Radusinović). Parageneza iz lokalnosti Đupski Poroj je vrlo slična prethodnoj, jer se i ovde sa pehblendom javljaju sulfidi olova, cinka, bakra i bizmuta, koje još prati i molibdenit (D. Radusinović). I na Pljačkovici je otkrivena hidrotermalna parageneza predstavljena galenitom, sfaleritom, halkopiritom, tetraedritom, piritom i markasitom, koje prati pehblenda i radioaktivni gel pirit. Ima dosta verovatnoće da je jedan deo pehblende termalnog porekla, pošto se zajedno sa sulfidima nalazi i u delovima rudne breče, koji uopšte ne sadrže descedentne minerale.

b) *Descedentne pojave.* Descedentne uranove tvorevine široko su rasprostranjene na Belasici (3). Od radioaktivnih minerala najviše su zastupljeni limonit i autunit, zatim metatorbernit, uranocircit, uranofan i dr., ređe trošna pehblenda. Ovi minerali su gotovo uvek vezani za mehanički deformisane stene, manje ili više limonitisane, hloritisane i kaolinizirane. Međutim, zasada nije uvek jasno da li se radi isključivo o descedentnim tvorevinama, ili o oksidacionim zonama, pošto primarni uranovi minerali nisu otkriveni ni u jednom slučaju, a istraživanja su se uglavnom odvijala unutar zona oksidacije. Pored navedenog zapažene su i druge površinske tvorevine gde je radioaktivnost vezana za humusni sloj sa bigrovitim materijalom (Bansko), ili za recentne biljne ostatke —lišće i korenje (Bajrambos). Na Pljačkovici su takođe otkrivene descedentne pojave sa autunitom, torbernitom, gel piritom i limonitom, pored sulfida koje smo gore opisali, ili bez njihovog prisustva. Tako su u lokalnosti Karadžalar otkriveni isključivo descedentni minerali i to autunit, uranofan i limonit.

Za sigurnija metalogenetska raščlanjavanja potrebno je mnogo više podataka od onih koji su autorima stojali na raspolaganju. To se pre svega odnosi na petrologiju ispitivane oblasti, odnosno na određivanje magmatske faze koja je dala glavne količine juvenilnog ili remobilisanog urana, a isto tako i na proučavanje svih parageneza koje su prisutne u opisanoj oblasti, bez obzira da li se radi o olovu, cinku, bakru ili uranu. To se, na kraju, odnosi i na podatke istražnih radova koji treba da daju odgovor na pitanje primarnih uranovih mineralizacija, i njihovog prostiranja u dubljim nivoima. Svi ovi podaci, zajedno sa rezultatima daljih prospekciono-istražnih radova omogućili bi izradu metalogenetske studije opisane oblasti u pogledu na uran, tj. utvrđivanju zakonitosti načina pojavljivanja uranovih mineralizacija, njihovog genetskog odnosa prema okolnim stenama, njihove starosti i načina postanka, te na kraju perspektivnosti pojedinih rejona ispitivanog terena u pogledu na uran.

(Predato za štampu marta 1969. god.)



Sl. 10. — Rudna breča iz potoka u Podarešu; pehblenda (belo) cementuje odlomke stene (sivo). Uvećano 180 ×

Fig. 10. — Rhyolite-breccia cemented by pitchblende (gray). × 180.



Sl. 11. — Žilice pehblende (svetlosivo) u rudnoj breči iz Podareša. Uvećano 180 ×

Fig. 11. — The veinlets of the pitchblende (light gray) in the Rhyolite-breccia. × 180

LITERATURA

1. Ačković O., 1963: — Geološki elaborat za Strumičko polje. Fond str. dok. INGRI, Beograd.
2. Antonović A. i Jokanović V., 1949: — Izveštaj sa terena Plačkovice i Ograždena. Ibid.
3. Antonović A. Vujanović V, i Višić S., 1963: — Analiza rezultata dosadašnjih istraživanja i proučavanja perspektivnosti područja Karataš, Strumica i Podareš. Ibid.
4. Arsenijević M., 1959: — Hidrogeološka istraživanja urana na Belasici. Ibid.
5. Arsovski M. i Stojanov R., 1966: — Opšta karakteristika na geološka gradba na teritorijata na SR Makedonija. Referat VI Savetovanja, deo I, Ohrid.
6. Ćirić V., 1959: — Uranohidrohemijska prospekcija terena planine Belasice, Ograždena i Strumičke kotline sa osvrtom na hidrogeološke probleme. Fond str. dok. INGRI, Beograd.
7. Cvetić S., 1957: — Pojava migmatita na Belasici. Ibid.
8. Deleon G., 1968: — Primena metoda nuklearne geologije u određivanju apsolutne starosti granitoidnih stena na teritoriji SR Makedonije (doktorska disertacija), Beograd.
9. Gertik S., 1959: — O istraživanju radioaktivne pojave Karataš, Belasica. Fond str. dok. INGRI, Beograd.
10. Gojković S. i dr., 1954: — Prethodni izveštaj o geofizičkim ispitivanjima u okolini Strumice, Ibid.
11. Harre W. i dr. 1968: — Über Rejuvenationen im Serbo-Madzedonischen Massiv (Deutung radiometrischer Altersbestimmungen). International geological congress, section, Geochemistry, Prague.
12. Ilovski Đ. i Hristov S., 1954: — Izveštaj o GM prospekciji Plačkovica 1, 3 i 4 Štip 2 i 4. Fond str. dok. INGRI, Beograd.
13. Isailović S. i Mijalković N., 1960: — O geološkom kartiranju srednjeg i istočnog dela Plačkovice. Ibid.
14. Jakovljević M. i dr., 1955: — O detaljnom kartiranju uže okoline Strumice u razmeri 1:2.500. Ibid.
5. Jakovljević M. i Mihajlović N., 1956: — O geološkom kartiranju terena Belasice. Ibid.
6. Jakovljević M. i Jokanović V., 1957: — O rudarskim istražnim radovima i dubinskom bušenju za II tromesečje 1957. g. Vitolište — Strumica. Ibid.
7. Jakovljević M., 1957: — O rudarskim istražnim radovima i dubinskom bušenju za I polugodište 1957. god., Strumica, Ibid.
18. Jakovljević M., 1957: — O dubinskom bušenju i rudarskim istražnim radovima za III kvartal 1957. god., Strumica. Ibid.
19. Jakovljević M. i Obrenović M., 1957: — O rudarskim istražnim radovima i bušenjem za 1957. god. Strumica. Ibid.
20. Jakovljević M., 1958: — Pojave urana u okolini Strumice. Ibid.
21. Klajn Đ., 1960: — O prospekcionim, rudarsko-istražnim radovima i dubinskom bušenju u 1960. god. Karataš. Ibid.
22. Klajn Đ. i dr., 1961: — O istraživanju urana na terenu Plačkovice u 1961. god. Ibid.
23. Mihajlović N., 1955: — O petrografiji uže okoline Strumice. Ibid.
24. Mihajlović N., 1957: — Petrologija uže okoline Strumice. Ibid.
25. Mikinčić V. i dr., 1961: — O obilasku terena Podareš i Suševo kod Kumanova. Ibid.
26. Nedimović R., Simić V. i Višić S., 1955: — O geofizičkim istraživanjima na terenu Strumice. Ibid.
27. Obrenović M., 1957: — O rudarskim istražnim radovima za IV kvartal 1957. god. Strumica. Ibid.
28. Obrenović M., 1958: — O rurdarskim istražnim radovima u toku I polugođa 1958. god. Strumica. Ibid.

29. Pavlović M., 1959: — O petrografsko-mineraloškim ispitivanjima Bajrambosa, Karataša, Kukliša i Svidovice. Ibid.
30. Pavlović S., 1948: — O ispitivanju nanosa planine Belasice i Ograždena u predelu izmedu Valandova, Strumice i bugarske granice u 1948. god. Ibid.
31. Pešić D., 1957: — Pokušaj odredivanja alteracije stena Strumice. Ibid.
32. Pešić D. i Mihajlović N., 1957: — O kartiranju alteracije u oblasti uže okoline Strumice. Ibid.
33. Petković K., 1958: — Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden Sonderabdruck aus den Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Jahrgang 1958, 101, Band. Heft 1, Wien.
34. Petrović M. i dr., 1960: — Prospekcija urana iz vazduha u 1960. god. Fond str. dok. INGRI, Beograd.
35. Petrović M. i Višić S., 1963: — Rezultati i celishodnost primene prospekcije iz vazduha na istraživanju urana u Jugoslaviji. II Jugoslovensko-Poljsko savetovanje o geologiji i metodama istraživanja ležišta nuklearnih sirovina.
36. Ristić M., 1956: — O mineraloško-petrografskom ispitivanju primeraka iz radioaktivnih pojava okoline Strumice. Fond str. dok. INGRI, Beograd.
37. Ristić M. i dr., 1957: — O naknadnim petrografskim, genetskim i tektonskim ispitivanjima na istražnim radovima okoline Strumice. Ibid.
38. Ristić M., 1958: — Pojave radioaktivnih minerala u NR Makedoniji. Ibid.
39. Simić V., 1959: — O prospekciji iz vazduha 1959. god. Ibid.
40. Sikošek B., 1956: — Izveštaj o geološko-tektonskim odnosima u oblasti šire okoline Strumice. Ibid.
41. Teofilović M., 1953: — Izveštaj sa terena Štip — Radovište. Ibid.
42. Teofilović M., 1963: — Proučavanje tercijarnih basena Jugoslavije. Ibid.
43. Vulović D. i dr., 1954: — Prethodni izveštaj o geološko-petrografskom kartiranju terena na sekcijama Strumica — Đevđelija. Ibid.
44. Vulović D. i dr., 1959: — Istraživanje urana na terenu planine Belasice 1959. god. Ibid.
45. Vučićević Đ., 1956: — Kukliš — Strumica. Ibid.
46. Vučićević Đ. i Miladinović N., 1956: — O rudarskim istražnim radovima i dubinskom bušenju sa detaljnim radiometrijskim premerom u Strumici i Vitolištu. Ibid.
47. Vukšić N., 1956: — O radiometrijskoj prospekciji Belasice. Ibid.

Summary

V. VUJANOVIĆ*
S. VIŠIĆ*
M. TEOFILOVIĆ*

BELASICA
GEOLOGICAL-PETROLOGICAL CHARACTERISTICS AND OCCURRENCES OF URANIUM MINERALIZATIONS AND REVIEW OF THEIR GENESIS

The region of the mountain Belasica was a subject of a longlasting exploration and research of uranium. The results of that are shortly presented in this paper.

The mountain Belasica is situated at the furthest Southeastern part of Yugoslavia, at the borderland of Serbian-Macedonian mass and internal Dinarides i.e. Vardar zone.

* Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

The mountain Belasica isn't characterized by a complex tectonic structure in the shape of overtrust and imbricate structures etc. It does not represent a region of the borderline either between the Serbian-Macedonian mass and the Vardar zone.

The region is composed of crystalline schists and magmatic rocks. There are crystalline schists: amphibolitic, biotitic and eye gneisses, amphibolites, phyllitic schists, phyllites, chloritic schists, chloritic-biotitic, chloritic-epidotitic and calcium siliseous schists. Magmatic rocks are represented by granitoids, rhyolites and microdiorites, which are followed by aplites, quartz veins and quartz-feldspatic veins. Serpentinites appeare as small intrusions. In one part of the region carbonatites are present too.

The alkaline metasomathism of the crystalline series is widespread, mostly as feldspathization and silification. It cought some magmatic rocks, that are granites and rhyolites. The formation of gneisses, by some authors called »ortho-gneisses« is caused by the oldest methasomathism (Caledonian?). These genisses were made mostly by the feldspathization of schists and micaschists. After the forementioned metasomathoze came the younger one which caused the making of Belasica's granitoid massif. There is no question any more of the alkaline front but metasomathozian intrusion of granitoides in the surrounding crystalline series. It is possible that Belasica's granitoide massif was made in the Variscine epoch, latest in the early Alpine. Plutonism which brought the forming of granitoids is characterized by the alkaline metasomathism of the surrounding rocks, including rhyolits too. The youngest alkaline metasomathoze of the Alpine age is represented mostly by the feldspathization and it has not involved only the surrounding rocks but the Belasica's granitoids too and caused the forming og »granit-porphyry« on account of rhyolits. This metasomathism is characterized by rosa feldspaths which are widespread in the granite massif and in the rhyolits too. Probably the youngest veinlets of granites and veins of rhyolits are in the genetic connection with this youngest alkaline metasomathism.

In the phase of the regional prospection were used methods: gamma--beta, hydrogeochemical and aeroradiometrical. By these explorations was established with regard to uranium-bearing that the most interesting is the belt of feldspathitic and schistous rhyolits. As most perspectivous are the narrow areas: Nikolić—Bajrambos, Bansko—Kukliš and Kukliš--Strumica on Belasica and Podareš—Jargulica on Plačkovica.

By the regional and semidetailed exploration in that region are discovered many anomalies of radioactivity from which some indicate occurrences of mineralization and deposits of uranium. By the selection of these occurrences in the phase of semidetailed geological-radiometrical exploration on Belasica are marked the most promissing localities: Bansko, Svidovica, Kukliš, Bajrambos, Široki Dol, Bizava Ritka, Lipski Poroj, Kara Taš and Đupski Poroj.

During the detailed exploration of the forementioned localities the geological, radiometrical and electrical methods were used. By the checking of the results got in the phase of the detailed geological-geophysical researches was established that the best quality of the uranium ores are on the localities: Kara Taš, Đupski Poroj and Bizava Ritka.

By the mining and drilling research works was established the following: At the locality of Kara Taš the irregular mineralization appeare in the sheare zone and it is connected with the clastic, loose argiliaceous material. Ore bodies are irregular in shapes and small in dimensions. The contents of uranium vary to 1500 gr./t but mostly under 500 gr./t. The thickness of the mineralizations are under 1 m., mostly under 0,5 m. The mineralizations appeared also at the locality Đupski Poroj in the fault zone and they are connected firmly with the gray and black clays which are in the shape of veins which thicknesses are under 0,5 m. The contents of uranium vary mostly under 500 gr./t only in some places up to 1300 gr./t.

At the locality Bizava Ritka mineralization is very closely localized at the side of the thin narrow hematitic salbands of the quartz veins which is in the shape of a lense. The contents of uranium in the simples are under 1000 gr./t.

The mining exploration works and drilling at the forementioned localities were performed mostly in the zone of the oxidation and the intensive additional distribution of uranium. This zone in the region of Belasica reaches considerable depths what indicates the example of the locality Kara Taš best, where it includes the mineralization in the depths under 100 m. Although in the described region appear beside of uranium occurrences of the other minerals as: Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Au etc.

In this work are reviewed only results of exploration and research of uranium occurrences. However because of the unsufficient research it is not possible now to give the final opinion about the metalogeny of uranium. However it was possible to establish the existence of the two basic types of uranium mineralization: a) hydrothermal occurrences of uranium with radioactiv fluorite, hematite, pyrite, quartz, calcite, siderite (Kara Taš); uranium-sulphurous occurrences with pitchblende and sulphides Pb, Zn, Bi, Cu (Bizava Ritka); uranium-sulphurous occurrences with pitchblende and sulphides Pb, Zn, Bi, Cu and molybdenite (Đupski poroj) and b) descending occurrences with radioactive limonite, autunite, metatorbernite, etc., and very seldom the dirty pitchblende.

All upper results show that the further explorations of uranium have to be directed to discover the primary ore bodies, how the pure descending mineralizations have to be separated from the primary ores which in the upper levels were subject to the process of the oxidation.

PRILOG 1
PLATE 1

GEOLOŠKA KARTA
BELASICE

0 1 2 3 4 5
km

GEOLOGICAL MAP
BELASICA

N

STRUMICA
ČAM. GLAVICA
KUKLIŠ
TRI VODE
SVIDOVICA
BANSKO
GABROVO
BORISOVO
MOKRIEVO
MOKRINO
SMOLARE
KONJAREVO
DORLOBOS
BAJRAMBOS
ČANAKLI
ORCANDŽALI
DEDELI
NIKOLIĆ
Pupul
Sečena skala
Ismil kala karani
Karaj taš
Poqled
Orenski rid
Visoki rid
Kodža čair
Mantastir
Gladnik
Derman
Pospaloji
Karaji
Kara Dloka
Strumski r.
Srpski r.
Studica
Trkojna
Dojranski j.
Gradečka r.
Bučka r.
Ilovica
Ilovski r.
Kara Dloka
Čertovska r.
Kara Dloka
Kara Dloka
Kara Dloka

PREGLED SADRŽAJA MINERALA U ISPITIVANIM LOKALNOSTIMA BELASICE

REDNI BROJ	LOKALNOST	AUTINIT	TORBERNIT	METATORBERNIT	URANOCIRCIT	URANOFAN	PEHBLENDA	PIRIT	GEL - PIRIT	HALKOPIRIT	TETRAEDRIT	GALENIT	SFALERIT	MARKASIT	AJKINIT	MATILDIT	VITIHENIT	BIZMUT	ANTIMONIT	TELURIDI Bi - a	HEMATIT	BORNIT	ENARGIT	MOLIBDENIT	HALKOZIN	KOVELIN	MALAHIT	AZURIT	LIMONIT	PSILOMELAN	ŠELIT	KVARC	KALCIT	ARAGONIT	FLUORIT	BARIT	SIDERIT	KALCEDON	SILIFIKACIJA	KAOLINIZACIJA	HLORITIZACIJA	RADIJUM	URAN	TORIJUM	ORGANSKA MATERIJA	STENA NOSILAC RADIO-AKTIVNOSTI
1	KOLEŠINO	⊖																										○															⊕			GRANIT
2	SVIDOVICA							●													●							○											○	●		⊕	⊕		GRANIT
3	BANJSKO																											○				◐	○								⊕	⊕			HUMUS(GRANIT)
4	BAJRAMBOS	⊖	⊖																									○											○	●	⊕	⊕	⊕	⊙	RIOLIT
5	KARATAŠ	⊖	⊖				⊖	●													●							○	○		●			○	●	●	●	○	○			⊕	⊕		RIOLIT
●6	KARATAŠ I																											○														⊕			RIOLIT
7	BIZAVA RITKA						⊖	●		●	●	●			◐	◐		◐			◐	◐	◐			◐	◐	◐	○		●	●											⊕			RIOLIT
8	LIPE POTOK			⊖				●													●							○		●									○			⊕			RIOLIT
9	ĐUPSKI POROJ			⊖			⊖	●		●		●	●		◐	◐		◐			●	●	●	●	◐	◐		○		●									○			⊕			RÍOLIT
10	KRST			⊖																								○											●			⊕			RIOLIT
11	POPOVNJAK																											○										●				⊕	⊕	⊙	RIOLIT
12	SUŠICA	⊖		⊖																	●													●					○			⊕			RIOLIT
13	PODAREŠ	⊖	⊖		⊖		⊖	●	○	●	●	●	●	●			◐							◐	◐				○											○	⊕	⊕	⊕			MIKAŠIST
14	KARA DŽALAR	⊖				⊖	⊖																																						

● NERADIOAKTIVNI MINERALI ○ RADIOAKTIVNI MINERALI ⊖ URANOVI I TORIJUMOVI MINERALI ⊕ RADIOAKTIVNI ELEMENTI ⊙ ORGANSKA MATERIJA

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

STANISLAV VIŠIĆ

UDK = 553.495 (497.11)

URANONOSNOST SEDIMENATA ZAPLANJA SA OSVRTOM NA STEPEN ISTRAŽENOSTI PERMA ISTOČNE SRBIJE

(3 slike i 2 priloga)

U radu su izneti rezultati radiometrijskih ispitivanja izvršenih u području Zaplanja — istočna Srbija. Istraživanja su obuhvatila deo unutrašnjeg karpatskog pojasa permskih tvorevina i sedimente tercijarnog basena, kao i geološke formacije iz oboda ovog tektonskog rova.

Razmatrane su radiometrijske karakteristike izdvojenih geoloških formacija, s obzirom na statistički analizirane podatke i postojeće rezultate geološkog izučavanja ovog terena. Na osnovu interpretacije geofizičkih podataka ukazano je na mogućnost indiciranja geoloških granica korišćenjem radiometrijskih ispitivanja.

Distribucija anomalija radioaktivnosti ukazuje na njihovu veću koncentraciju u sedimentima koji su bliži JZ obodu kristalastih škriljaca. Većina indicira lokalne, descedentne koncentracije radioaktivnih elemenata. U pogledu uranonosnosti od interesa su sedimenti perma i miocena.

Opisane su najvažnije pojave mineralizacije urana, koje su u permu vezane većinom za konglomerate (Gadžin Han), u miocenu za peščare (D. Prisjan), a u pliocenu za sočiva i žilice uglja u peskovima i peščarima (Ravna Dubrava).

Ukazano je na potrebu daljih istraživanja permskih terigenih sedimenata istočne Srbije na osnovu otkrivenih pojava urana u području Zaplanja i na drugim mestima ove oblasti, postojanja ležišta urana u permskim sedimentima Karpato-balkanida Rumunije, niskog stepena njihove istraženosti u oblasti Karpato-balkanskog luka Jugoslavije, povoljno ocenjene sredine za formiranje ležišta urana u sedimentima perma pomenute oblasti, znatne površine koje zauzimaju ove tvorevine u istočnoj Srbiji i postojanja ekonomski značajnog ležišta urana u Jugoslaviji baš u permskim peščarima.

UVOD

U permskim i tercijarnim sedimentima registrovane su brojne pojave uranske mineralizacije i orudnjenja kako u svetu tako i u Jugoslaviji. S obzirom na tu činjenicu oni se opravdano smatraju kao potencijalni nosioci ekonomski značajnih ležišta urana, što potvrđuje niz već otkrivenih eksploatabilnih nalazišta ovog metala. Zbog toga je u oblasti istočne Srbije u nekoliko navrata izvođena radiometrijska prospekcija, pri čemu su obuhvaćeni permski i permo-trijaski terigeni sedimenti, kao i pojedini tercijarni baseni. U toj oblasti sistematska radiometrijska ispitivanja obuhvatila su i područje Zaplanja, gde su geološkim kartiranjem (4) izdvojeni tercijarni i permski sedimenti. Neposredan povod za ta ispitivanja, pored

napred navedenog, predstavlja i pronalaženje visokoradioaktivnih fragmenata uglja u nanosu, kao i otkrivanje sekundarne mineralizacije urana u sedimentima Zaplanjskog basena.

Ispitivano područje se nalazi između Suve planine i planinskih masiva Seličevice, Babičke Gore i Kruševice (sl. 1). Prostire se oko 40 km duž zapadnog oboda Karpato-balkanida, obuhvatajući tektonski rov Zaplanja sa tercijarnim sedimentima i jedan deo permskih tvorevina koje pripadaju tzv. unutrašnjem Karpatskom pojasu.

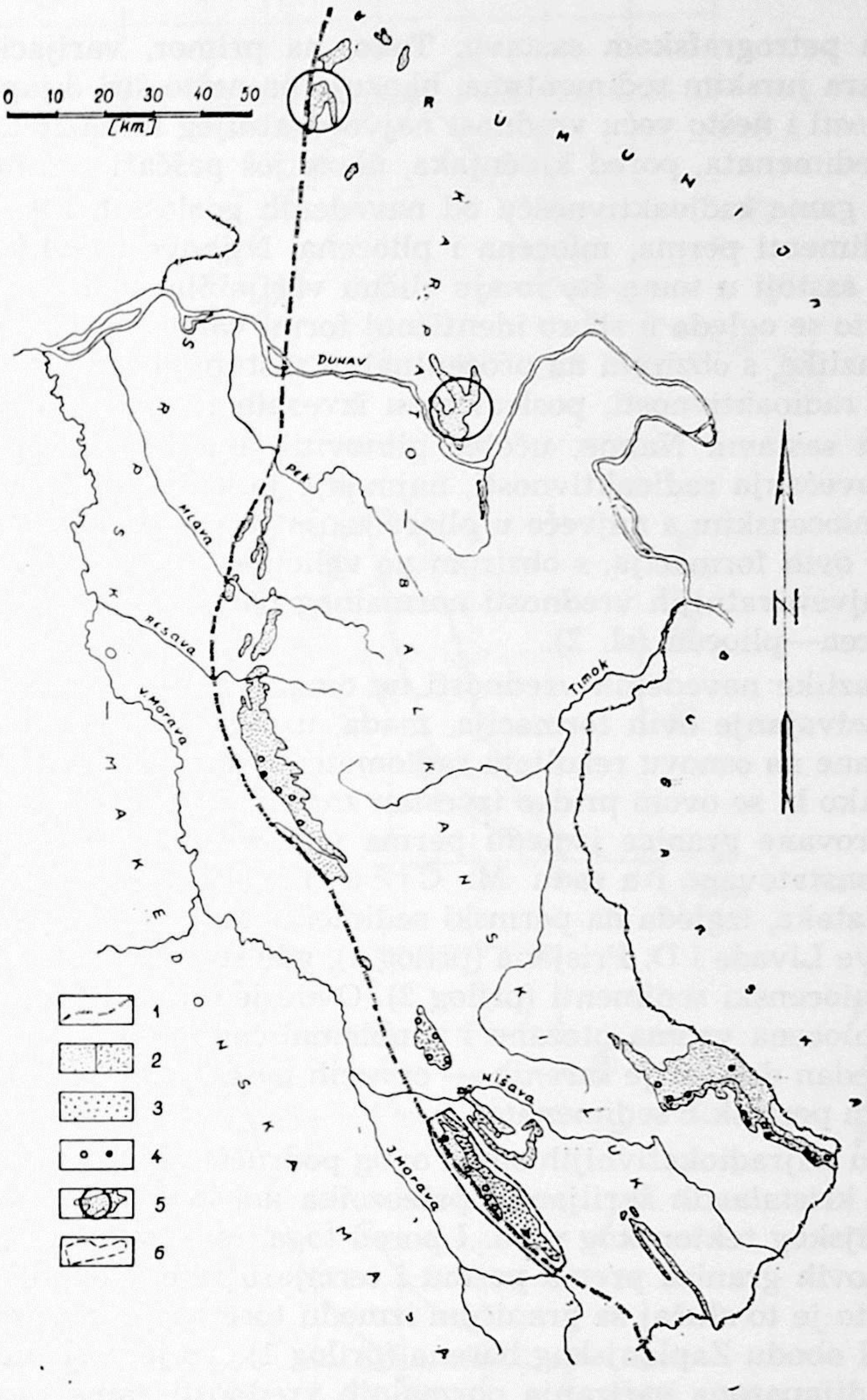
Geofizička ispitivanja su zahvatila i deo Barbeškog tercijarnog basena, gde se ovaj spaja sa Zaplanjskim, kao i uzan pojas okolnih geoloških formacija, prekrivajući na taj način ukupnu površinu od oko 200 km^2 (prilog 1). Primenjena je gama-metoda korišćenjem scintilometara »Custon-111C« sa razmerom ispitivanja oko 1 : 12.500. Na ovaj način dobijeni rezultati su proveravani detaljnim radiometrijskim ispitivanjima uz izvođenje rudarskih istražnih radova i bušenja manjeg obima na pojedinim lokalnostima.

RADIOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE GEOLOŠKIH FORMACIJA

Geofizička ispitivanja vršena su po relativno ujednačenoj mreži profila (11), pri čemu je registracija merenih vrednosti obavljana većinom tamo gde postoje izdanci stena, izuzimajući one slučajeve gde su uočavana povećanja radioaktivnosti iznad humusnog pokrivača ili pak gde ovaj egzistira na većem prostoru. Ukupan broj izmerenih vrednosti iznosi oko 15.000. S obzirom na ovako veliki broj tačaka i način izbora mesta registracije intenziteta gama zračenja, dobijeni podaci zadovoljavaju zahteve za njihovu statističku analizu. Reprezentativnost podataka je sasvim dovoljna kad su u pitanju i pojedine izdvojene geološke formacije za koje broj merenih vrednosti iznosi većinom preko 1000, a ide i do 6.000 (sl. 2). Razmatranja osnovnih karakteristika polja gama radioaktivnosti zasnivaju se kako na pomenutoj analizi, tako i direktnim geološkim opažanjima, koja su vršena u toku radiometrijske prospekcije. Konačni zaključci ovih izučavanja vezani su za rezultate geoloških ispitivanja, koji su dati od strane M. Čičulić (4).

Relativno raznovrsna geološko-petrografska građa terena uslovljava znatnu varijabilnost intenziteta gama polja. Donja granica normalnih vrednosti ovog polja za celo područje je 2—3 μR/h, a gornja se penje i preko 10 μR/h.

Najnižim vrednostima gama radioaktivnosti odlikuju se sedimenti donje krede, titon-valendina, donje jure i karbona, u kojima daleko veći udeo imaju krečnjaci. Varijacione krive njihovog gama intenziteta jasno se izdvajaju, s obzirom na procentualno učešće onih vrednosti radioaktivnosti po kojima se ove geološke formacije razlikuju od ostalih (sl. 2). Zahvaljujući tome, odgovarajući sedimenti se vrlo uočljivo odvajaju od susednih tvorevina, tako da naznačene granice na radiometrijskoj karti (prilog 1) većinom odgovaraju granicama registrovanim prilikom geološkog kartiranja (prilog 2). Na pomenutim dijagramima uočavaju se izvesne razlike, mada neznatne, i među ovim formacijama, što je posledica razlika



Sl. 1. — Pregledna karta lokacije ispitivanog područja i rasporeda permskih i permo-trijaskih terigenih sedimenata istočne Srbije i pridunavskog dela Rumunije (Prema V. Mikinčić, B. Sikošek, V. Veselinović, Lj. Vuković).

1 — Približna granica između Karpato-balkanida i Srpsko-makedonske mase; 2 — permski i permo-trijaski sedimenti; 3 — sedimenti Zaplanjskog tercijarnog basena; 4 — pojave mineralizacije i orudnjenje urana; 5 — područja sa ležištima urana u sedimentima perma; 6 — ispitivano područje.

Fig. 1. — Location map of investigated area and distribution of permian and permo-triassic terrigenous sediments of Eastern Serbia and near Danube part of Romania (after V. Mikinčić, B. Sikošek, V. Veselinović, Lj. Vuković).

1 — Approximate boundary between Carpatho-Balkanids and Serbo-Macedonian massif; 2 — permin and permo-triassic terrigenous sediments; 3 — sediments of Zaplanje tertiary basin; 4 — uranium mineralization and ore occurrances; 5 — areas with uranium deposits in permian sediments; 6 — investigated area.

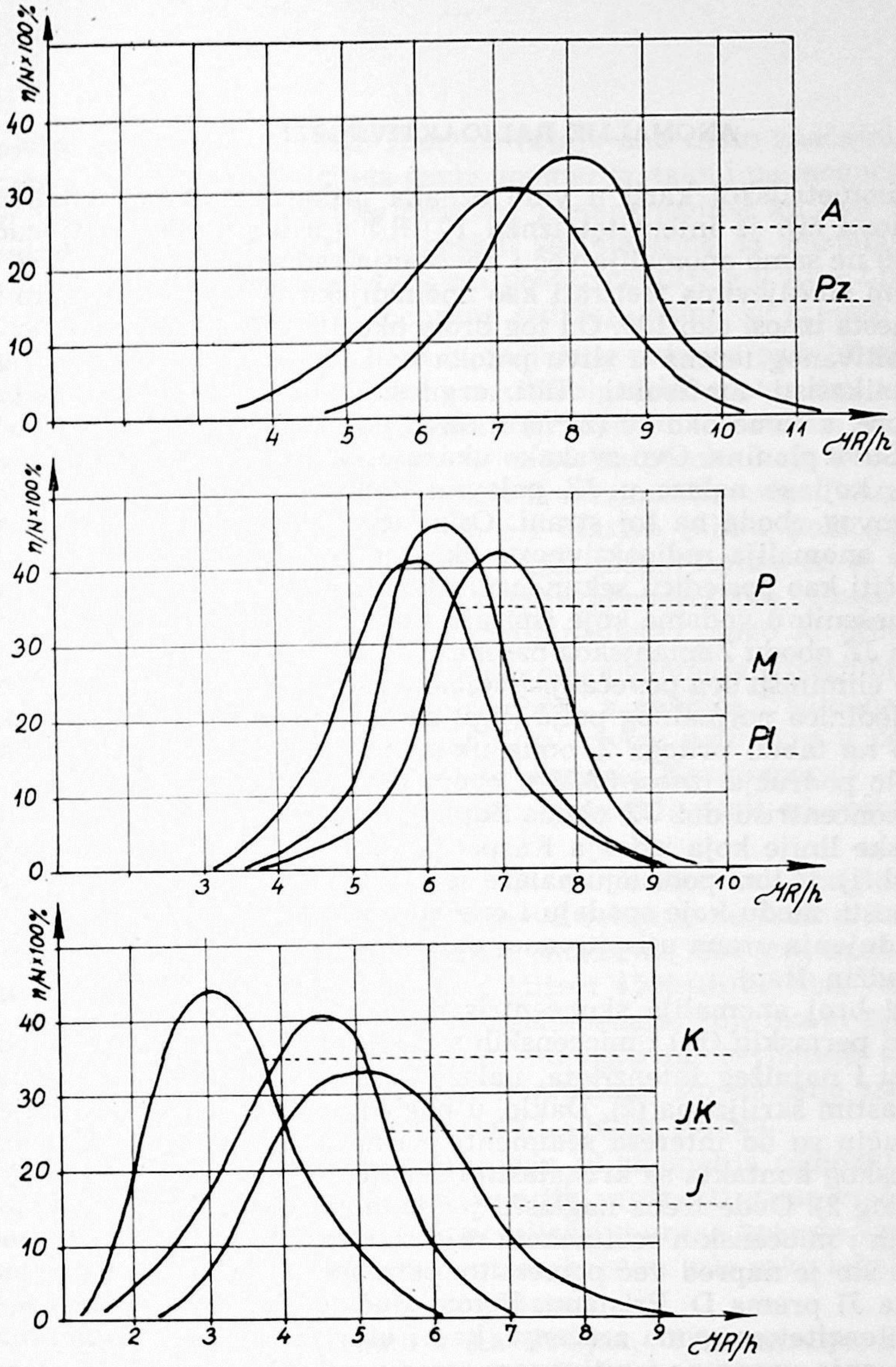
u njihovom petrografskom sastavu. Tako, na primer, varijaciona kriva, koja odgovara jurskim sedimentima, ukazuje na nešto širi dijapazon gama radioaktivnosti i nešto veću vrednost najverovatnijeg intenziteta, jer u sastav ovih sedimenata, pored krečnjaka, ulaze još peščari i glinci.

Većom gama radioaktivnošću od navedenih geoloških formacija odlikuju se sedimenti perma, miocena i pliocena. Njihova zajednička karakteristika se sastoji u tome što imaju sličnu varijabilnost intenziteta gama zračenja, a to se ogleda u skoro identičnoj formi varijacionih krivih (sl. 2). Neznatne razlike, s obzirom na procentualnu zastupljenost pojedinih vrednosti gama radioaktivnosti, posledica su izvesnih razlika u njihovom petrografskom sastavu. Naime, učešće glinovitih i ugljevitih partija, koje izazivaju povećanja radioaktivnosti, najmanje je kod permskih sedimenata, veće u miocenskim a najveće u pliocenskim tvorevinama. Zato je upravo redosled ovih formacija, s obzirom na veličine i međusobne razlike intenziteta najverovatnijih vrednosti normalnog polja gama radioaktivnosti: perm—miocen—pliocen (sl. 2).

Male razlike navedenih vrednosti ne omogućavaju međusobno radiometrijsko izdvajanje ovih formacija, mada, u ovom slučaju, izvesne granice indicirane na osnovu rezultata radiometrije, ukazuju donekle na perm (prilog 1). Ako bi se ovom pridao izvestan značaj, onda treba istaći da geološki registrovane granice između perma i miocena nisu sigurne, što je uostalom konstatovano i u radu M. Čičulić (4). Polazeći od radiometrijskih podataka, izgleda da permski sedimenti zauzimaju i prostor između Orzarkove Livade i D. Prisjana (prilog 1), gde su geološkim kartiranjem naznačeni miocenski sedimenti (prilog 2). Ovde je stratigrafsko izdvajanje perma od miocena veoma otežano i problematično, s obzirom na mogućnost da je jedan deo serije šarenih — crvenih peščara miocena nastao pretaložavanjem permskih sedimenata.

U grupu najradiokativnijih stena ovog područja spadaju one koje ulaze u sastav kristalastih škriljaca i paleozoika uopšte i koje izgrađuju JZ obod Zaplanjskog tektonskog rova. I pored toga, ipak radiometrijsko indiciranje njihovih granica prema permu i tercijaru nije u onolikoj meri sigurno kao što je to slučaj sa granicom između tercijara i mezozojskih tvorevina na SI obodu Zaplanjskog basena (prilog 1). To je posledica pre svega znatnog dijapazona variranja normalnih vrednosti gama radioaktivnosti kristalastih škriljaca i paleozojskih tvorevina uopšte, čije niže vrednosti znatno zalaze u domen promena intenziteta navedenih radioaktivnosti perma i tercijara, što se jasno uočava upoređivanjem formi odgovarajućih vriacionih krivih (sl. 2). Ipak, naznačene granice na radiometrijskoj karti u znatnoj meri se poklapaju sa geološki utvrđenim granicama. Ovo se naročito odnosi na jasno izdvajanje paleozoika od tercijara u području D. Prisjan — Bonjince na JI ispitivanog terena (prilog 1).

Navedena razmatranja nedvosmisleno ukazuju na mogućnost korišćenja radiometrijskih ispitivanja pri geološkom kartiranju, naročito na onim terenima gde je moćnost humusnog pokrivača takva da obezbeđuje uspešnu primenu gama-metode kao pomoćnog sredstva pri geološkim izučavanjima.



	BROJ MERENIH TAČAKA NUMBER OF MEASURED POINTS
A	1650
Pz	780
P	1660
M	6040
Pl	3230
K	380
JK	260
J	1300
Σ	15000

Sl. 2. — Varijacione krive intenziteta gama radioaktivnosti izdvojenih geoloških formacija.

A — Paleozojski škriljci (gnajsevi, mikašisti, amfiboliti); Pz — paleozoik uopšte (filiti, argilošisti, hloritošisti); P — perm (crveni peščari i konglomerati); M — miocen (serija crvenih i žutih peščara i peskovitih laporaca); Pl — pliocen (peskovi, gline i laporci sa ugljem); K — kreda (krečnjaci); JK — titon-valendin (krečnjaci); J — jura (peščari, glinci, krečnjaci).

Fig. 2. — Frequency distribution curves of gamma-ray intensity for delineated geological formations.

A — Cristaline schists (gneiss, micaschist, amphibolite); Pz — paleozoic in general (phylite, argilloschist, chloritoschist); P — permian (red sandstone and conglomerate); M — miocene (sequance of red and yellow sandstones and sandy marles); Pl — pliocene (sand, clay and marle with coal); K — cretaceous (limestone); JK — titon-valenginian (limestone); J — jurassic (sandstone, slate, limestone).

ANOMALIJE RADIOAKTIVNOSTI

Na radiometrijskoj karti u vidu oznaka prikazane su sve vrednosti radioaktivnosti čiji je intenzitet iznad 10 μR/h (prilog 1). Na ovaj način izdvojene su ne samo anomalije već i povećanja radioaktivnosti koja se ne mogu u svim slučajevima tretirati kao anomalijska. Ukupan broj tako izdvojenih mesta iznosi oko 130. Od tog broja oko 100 (77%) nalazi se na JZ polovini ispitivanog terena u slivu potoka koji teku iz područja škriljaca (gnajsevi, mikašisti, amfiboliti, filiti, argilošisti, hloritošisti) Seličevice i Babičke Gore, a samo oko 30 (23%) u slivu potoka koji teku iz područja krečnjaka Suve planine. Ovo svakako ukazuje na veću uranonosnost kako sedimenata, koji se nalaze u JZ polovini Zaplanjskog tektonskog rova, tako i njegovog oboda na toj strani. Osim toga, takva opšta distribucija povećanja i anomalija radioaktivnosti ukazuje i na to da mnoge od njih treba tumačiti kao posledicu sekundarnih koncentracija radioaktivnih elemenata donešenih u vodama koje ispiraju radioaktivnije stene kristalastih škriljaca na JZ obodu Zaplanjskog basena.

Ako se eliminišu sva povećanja radioaktivnosti prikazivanjem anomalija preko jedinica normalnog polja (jnp) gama radioaktivnosti, kao što je to učinjeno na tabeli priloga 2, onda ukupan broj gama anomalija iznad 3 jnp za celo područje iznosi 38. I u ovom slučaju jasno se uočava da se anomalije koncentrišu duž JZ oboda Zaplanjskog basena (oko 70%) u blizini tektonske linije koja izdvaja Karpato-balkanide od Srpsko-makedonske mase (sl. 1). U tom području nalaze se i anomalije najvećeg intenziteta radioaktivnosti, među koje spadaju i one koje indiciraju pojave, mineralizacije i orudnjenja urana u ispitivanoj oblasti (D. Prisjan, Dragovlje, Krastavče i Gadžin Han).

Najveći broj anomalija skoncentrisan je u delovima terena koji su izgrađeni od permskih (14) i miocenskih sedimenata (19). Ostalih 5 anomalija, koje su i najnižeg intenziteta, nalaze se u pliocenskim sedimentima (3) i kristalastim škriljcima (2). Dakle, u pogledu uranske mineralizacije u ovom području su od interesa sedimenti perma i miocena koji se nalaze bliže tektonskog kontakta sa kristalastim škriljcima JZ oboda Zaplanjskog basena (prilog 2). Ovde treba naglasiti još jednom da međusobno izdvajanje permskih i miocenskih sedimenata nije izvršeno sa dovoljno sigurnosti i da se, kao što je napred već pomenuto, permske tvorevine prostiru možda dalje na JI prema D. Prisjanu. U tom slučaju bi se sve anomalije sa najvećim intenzitetom gama zračenja, kao i otkrivene pojave mineralizacije i orudnjenja urana na ispitivanom terenu, nalazile u području permskih sedimenata. Ova pretpostavka se u daljem tekstu neće uzeti u obzir, već će razmatranja geološke lokacije pojedinih pojava biti data u skladu sa postojećim geološko-stratigrafskim podacima (4).

POJAVE MINRALIZACIJE URANA

Permskim sedimentima pripada 14 anomalija radioaktivnosti sa intenzitetom iznad 3 jnp. Većina od njih se odlikuje nižim intenzitetom gama radioaktivnosti i spada u grupu anomalija koje indiciraju usko lokalizovane, »tačkaste« koncentracije radioaktivnih elemenata u peščarima koji su na nekim mestima glinoviti. Samo se tri lokalnosti (G. Dra-

govlje, Krastavče, Gadžin Han) izdvajaju kao nešto značajnije s obzirom kako na veličinu intenziteta gama anomalija, tako i na mogućnost praćenja mineralizacije po nekoliko desetina metara (prilog 2). Sve tri pojave se nalaze u blizini kontakta permskih sedimentima sa kristalastim škriljcima i vezane su za konglomerate i peščare debljine 0,5 do 2 m. U otkrivenim mineralizovanim sedimentima sadržaji urana ne prelaze 200 gr/t.

P o j a v a G a d ž i n H a n zaslužuje najveću pažnju od njih. Nalazi se na krajnjem SZ delu pojasa permskih sedimenata, koji se prostire od Orzarkove Livade prema istoimenom selu duž kontakta sa kristalastim škriljcima (prilog 2). Otkrivena je u koritu potoka koji teče sa Seličevice i preseca pomenuti pojas permskih tvorevina. Uzvodno, blizu pojave, isti potok zaseca miocenske sedimente i otkriva plitku podlogu kristalastih škriljaca. S obzirom na to, ne bi se ipak moglo tvrditi da se uočena mineralizacija nalazi u blizini bedroka, jer uranonosni sloj i okolni permski sedimenti su tektonski pomereni i imaju padove i preko 30° prema SI.

Mineralizacija je vezana za kvarcne konglomerate u kojima ima i oštrooivičenih uklopaka. Boja im je sivobela, a veličina fragmenata ne prelazi 3 cm u prečniku. U njihovoj podini su crveni peščari, a u povlati peščari žućkasto-crvenkaste boje sa sivim pegama. Konglomerati — breče se u celini jasno izdvajaju po intenzitetu radioaktivnosti od sedimenata u podini i povlati.

Raskopavanjem je utvrđeno da mineralizovani konglomerati bočno prelaze u krupnozrne peščare. Njihova debljina ne prelazi 2 m. U brazda-probama najradioaktivnije partije sadrže do 200 gr/t urana, iako gama radioaktivnost na tim mestima dostiže i 1500 μR/h. Niski sadržaj urana, čak i u onim delovima pomenutih sedimenata, koji imaju tako visoku radioaktivnost, indicira pomerenost radioaktivne ravnoteže u korist radijuma, pošto je sadržaj torijuma minimalan, što ukazuje na potrebu detaljnijih istraživanja kako ove tako i sličnih pojava.

Miocenskim sedimentima pripada 19 anomalija radioaktivnosti sa intenzitetom iznad 3 jnp. Anomalije nižih vrednosti gama zračenja odlikuju se time što indiciraju pojave mineralizacije urana koje su vezane za glinovite peščare, gline i ugljevite partije i koje su vrlo usko lokalizovane pa se ne mogu pratiti više od nekoliko metara.

Samo nekoliko anomalija (D. Prisjan, G. Dragovlje, D. Dragovlje), koje su istovremeno i većeg intenziteta (prilog 2), ukazuju na pojave mineralizacije u određenim stratigrafskim nivoima i mogu se pratiti oko 10 do preko 100 m. Takve pojave su redovno vezane za sive, sivožute, žutocrvene itd., često limonitisane, većinom krupnozrne kvarcne peščare. Ovi sedimenti su u toliko više tektonski poremećeni ukoliko su bliže JZ obodu tercijarnog basena, što se ogleda u strmim padovima (do 65°) i čestoj promeni pravca pružanja. Njihova debljina varira od nekoliko desetina santimetara do nekoliko metara. Sadržaji urana su vrlo promenljivi i retko prelaze 200 gr/t.

P o j a v a D. P r i s j a n je najznačajnija. Otkrivena je u blizini istoimenog sela, nedaleko od oboda kristalastih škriljaca, na levoj strani reke Mlake, blizu njenog ušća u Pustu reku (prilog 2). Konfiguracija anomalij-

skog polja gama-radioaktivnosti, koja je dobijena na osnovu detaljnih ispitivanja ove lokalnosti (1 : 1000), ukazuje na širok mehaničko-hemijski oreol rasejavanja radioaktivnih elemenata na padini koja se spušta približno prema JZ (sl. 3). Raskopavanjem je utvrđeno da je humusni pokrivač debljine mestimično preko 0,5 m i da je najradioaktivniji tamo gde naleže na mineralizovani banak žutog — limonitisanog kvarcnog peščara sa padom oko 50° prema SI. Idući odavde uz padinu, tj. u pravcu pada uranonosnog peščara, upravno na osu anomalije, gama radioaktivnost opada na intenzitet normalnih vrednosti posle nekoliko metara, dok se idući suprotno, tj. niz padinu, u područje ovih vrednosti ulazi tek posle oko 80 m.

Geološkim kartiranjem okoline konstatovano je da se anomalija radioaktivnosti proteže prema JI sve do mesta gde je uranonosni peščar prekriven aluvijalnim nanosom reke Mlake (sl. 3). Izdanci pomenutog peščara, dalje odavde u istom pravcu, nigde se ne pojavljuju s obzirom na znatnu debljinu humusnog sloja. Slična je situacija idući i prema SZ samo što je humusni pokrivač dosta tanji. U tom pravcu, počevši od raskopa 2, intenzitet anomalijskih vrednosti gama zračenja postepeno opada tako da se u predelu raskopa 11 i 12 ulazi u normalno polje radioaktivnosti. Dužina ose anomalije u okviru izorade 15 μR/h iznosi oko 120 m.

Detaljnim geološkim ispitivanjem utvrđeno je da bankoviti, žuti, manje ili više limonitisani kvarcni peščar, zadržava svoje litološke odlike na celoj dužini pružanja gde je otkriven raskopima. Njegova debljina varira od 1 do 4 m. U njemu se zapažaju partije izbeljenog, sivog peščara u vidu proslojaka i nepravilnih sočiva, koje se češće sreću u JI delu ispitivane lokalnosti, gde su i radioaktivnosti većeg intenziteta. Neposrednu podinu čini mu zelenkasti peščar a u povlati je postupan prelaz u sivi peščar.

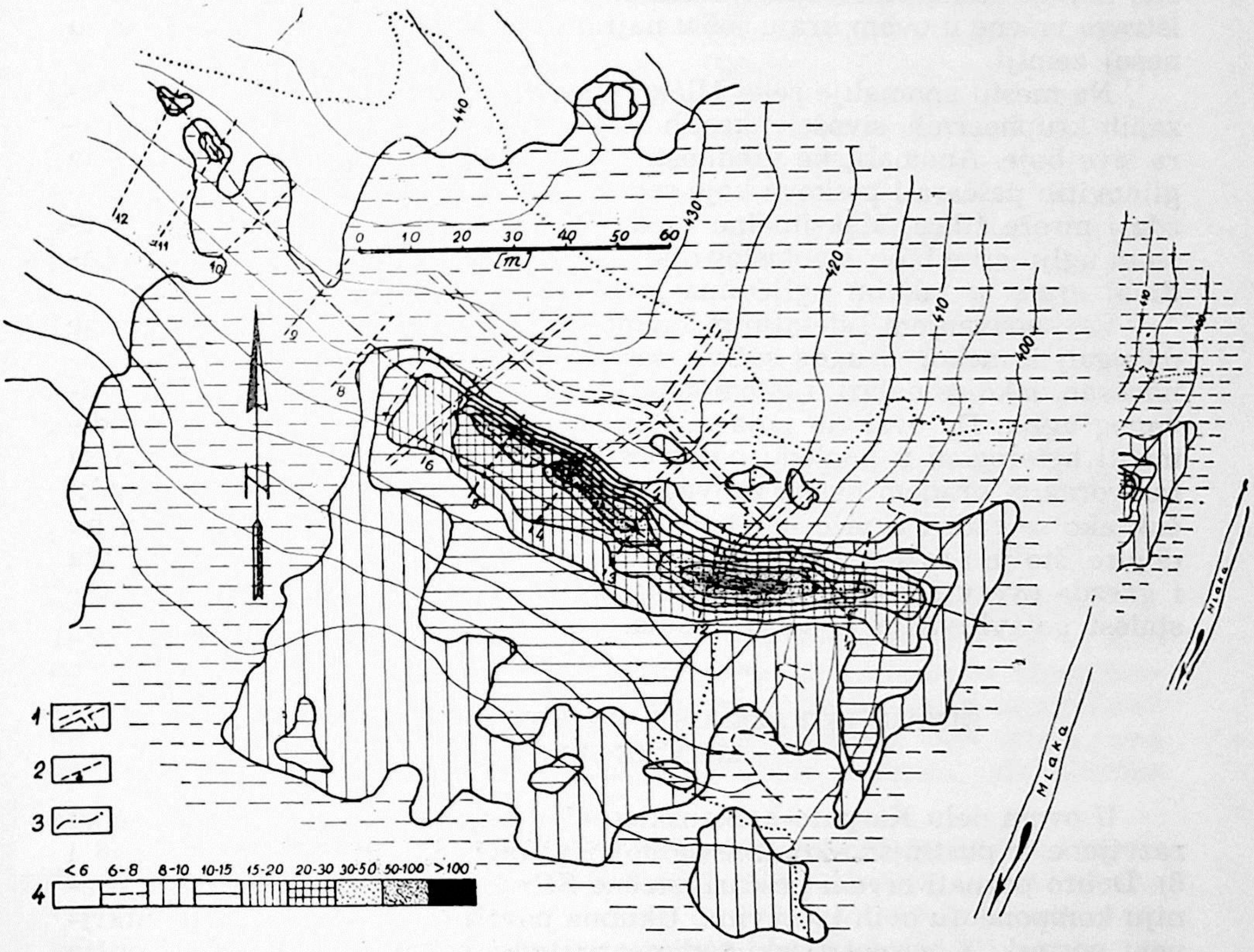
Utvrđeno je takođe da na ovoj lokalnosti postoji više slojeva —- banaka žutog, limonitisanog peščara, koji su po litološkim osobinama međusobno slični, a smenjuju se sa sivim, zelenkastim i ljubičastim peščarima. Međutim, samo je mineralizovan onaj koji je indiciran osom anomalije i praćen raskopima na dužini oko 200 m. Njegove litološke osobine su iste i izvan područja anomalije u pravcu SZ, tj. tamo gde po pružanju nadalje nestaje uranske mineralizacije, bar što se tiče pripovršinskog dela.

Značajnija koncentracija radioaktivnih elemenata javlja se u proslojcima i sočivima sivog peščara kao i u intenzivno limonitisanim partijama unutar mineralizovanog banka žutog peščara. Intenzitet njihove gama radioaktivnosti je do 300 μR/h. Na nekima od tih mesta konstatovano je prisustvo autunita u vidu ljuspica i zrnaca nepravilno rasutih u masi peščara. Maksimalni sadržaj urana ne prelazi 300 gr/t.

Istražnim potkopom sa nekoliko prečnih hodnika (sl. 3) dobijeni su podaci slični onima prikupljenim na površini terena uz pomoć raskopavanja. Rudarski radovi su izvođeni u delovima sedimenata blizu površine koji pripadaju oksidacionoj zoni. Relativno niski sadržaji urana mogu stoga biti posledica intenzivnog ispiranja urana vodama koje vrlo lako cirkulišu kroz porozne sedimente. Ispiranje je zahvatilo i dublje delove ispod nivoa urađenog potkopa. Na takav zaključak navode i morfološko-hidrogeološki uslovi, koji diktiraju spuštanje podzemnog nivoa vode znatno ispod istražnih radova. Zahvaljujući tome i relativno strmim padovima se-

dimenata, kao i njihovoj većoj poroznosti, vode, koje poniru u području grebena između reka Mlake i Puste, lako gravitiraju rečnim koritima pomenutih dveju reka (sl. 3), koje presahnu za vreme sušnih perioda.

Prema tome, do sada dobijeni podaci o sadržajima urana i dimenzijama mineralizovanih peščara ne mogu se tretirati kao pouzdani pokazatelji kvaliteta orudnjenja na osnovu kojih bi se sudilo o perspektivnosti ove pojave. Da bi se to omogućilo neophodna su dopunska istraživanja, koja bi pružila odgovarajuće podatke za dublje delove uranonosnog sloja,



Sl. 3. — Pojava urana — D. Prisjan

1 — Potkop; 2 — raskop; 3 — osa anomalije radioaktivnosti; 4 — intenziteti gama-radioaktivnosti (μR/h).

Fig. 3 . — Uranium occurrance — D. Prisjan

1 — Gallery; 2 — trench; 3 — axis of gamma-ray anomaly; 4 — Gamma-ray intensities (μR/h).

ispod nivoa podzemne vode. Nekoliko bušotina zapadno od ove lokalnosti, lociranih blizu kontakta sa kristalastim škriljcima, kao i dve kasnije urađene u blizini otkrivene pojave (12), pokazuju da je dubina kristalaste podloge u užoj i široj okolini lokalnosti vrlo promenljiva i da se na kratkim rastojanjima menja od preko 100 metara do nekoliko desetina meta-

ra. Takva situacija uslovljena je veoma izraženim tektonskim poremećajima koji su zahvatili prikontaktni pojas sedimenata prema obodnim kristalastim škriljcima u kome se nalazi i pojava urana D. Prisjan.

Pliocenski sedimenti su nosioci pojava uranske mineralizacije koja je vezana samo za ugljeve. Najinteresantnija je ona koja je otkrivena u koritu reke Mlake i jedina sa intenzitetom gama radioaktivnosti iznad 3 jnp (prilog 2). Zaslužuje da se detaljnije opiše s obzirom da razjašnjava poreklo visoko-radioaktivnih fragmenata uglja u aluvijonu reka Mlake i Puste, koji se teško otkrivaju. Nađeni su kod D. Prisjana zbog čega su prve istrage vršene u ovom kraju još u najranijem periodu prospekcije urana u našoj zemlji.

Na mestu anomalije reka Mlaka otkriva slojeve aglomerata, slabo vezanih krupnozrnih, sivozelenkastih i sitnozrnih glinovitih peskova i peščara sive boje. Anomalijske vrednosti radioaktivnosti izazvane su partijama glinovitih peščara i peskova koje sadrže ugljeve u vidu malih sočiva, gnezda i mreže žilica. Maksimalne vrednosti radioaktivnosti odgovaraju čvrstom uglju crne boje, smolastog sjaja, koji se pri udaru lomi na kocke. Sadržaj urana u takvim ugljevima je preko 800 gr/t.

Raskopavanjem i detaljnim radiometrijskim ispitivanjem utvrđeno je da ugalj iz nekog drugog sočiva, sasvim istog izgleda, ne mora biti uranonosan, iako se nalazi u istom sloju ili čak vrlo blizu gnezda mineralizovanog uglja. Do ovakvih pojava dolazi usled toga što su ugljonosni sedimenti heterogeni u pogledu poroznosti pa cirkulacija podzemnih voda sa rastvorenim uranom negde zahvata ugljeve koji apsorbuju uran, a negde, čak ako se radi i o vrlo kratkom rastojanju odavde, do ugljeva voda ne dopire, što je i razlog da su jedni uranonosni a drugi nisu. Veličine sočiva i gnezda ove vrste ugljeva su neznatne (1—5 cm × 50 cm), a njihova učestalost pojavljivanja je veoma mala.

STEPEN ISTRAŽENOSTI PERMSKIH SEDIMENATA ISTOČNE SRBIJE

U ovom delu Karpato-balkanskog luka permske terigene tvorevine su razvijene u pustinjsko-kontinentalnoj i plitkovodno-marinskoj faciji (6 i 8). Dobro poznati crveni peščari istočne Srbije predstavljaju najzastupljeniju komponentu ovih tvorevina. Ukupna površina na kojoj su ovde otkriveni permski i permotrijaski sedimenti iznosi približno 800 km². U opšte uzevši, pojavljuju se u dva pojasa međusobno udaljena oko 40 do 50 km.

Jedan od njih, unutrašnji karpatski, prostire se skoro duž same granice između Srpsko-makedonske mase i Karpato-balkanida (sl. 1). Saglasno ovoj granici taj se pojas prostire dalje prema severu u Rumuniju. Sastoji se od međusobno izolovanih partija sedimenata, čiji je položaj prema okolnim formacijama u većini slučajeva tektonski. One se nižu u vidu blagog luka na dužini preko 150 km u našoj zemlji. Njihova širina je od nekoliko kilometara do najviše 8 km. Pojedinačne površine navedenih partija su od nekoliko kilometara pa do 200 km², a njihova moćnost iznosi nekoliko stotina metara. Ukupna površina otkrivenih sedimenata perma i permotrijasa u području unutrašnjeg karpatskog pojasa iznosi oko 500 km².

Drugi pojas obuhvata permske tvorevine Stare planine i dalje se prostire prema JI u Bugarsku. Ovde ujedno permski sedimenti izgrađuju i

najveću jedinstvenu partiju, čija površina iznosi oko 250 km², a moćnost serije dostiže 1000 m (9). Sa JZ strane na crvene peščare Stare planine konkordantno naleže serija permo-trijaskih sedimenata u vidu zone širine nekoliko kilometara. Ona se može kontinuirano pratiti skoro od granice sa Bugarskom pa sve do Temske prema SZ na dužini oko 40 km. Grubo posmatrano tom pojasu bi pripadali i sedimenti perma kod Porečke reke, kao i izolovane partije u Rumuniji preko zone Svinjica—Fata Mare pa nadalje prema SSI.

Sadašnji stepen istraženosti navedenih sedimenata istočne Srbije je veoma neujednačen i nedovoljan da bi se moglo potpunije suditi o njihovoj perspektivnosti u pogledu mogućnosti otkrivanja ležišta urana od ekonomskog značaja. Regionalnom prospekcijom, koja je izvođena u najranijem periodu aktivnosti na istraživanju nuklearnih sirovina, nisu obuhvaćeni svi tereni izgrađeni od pomenutih sedimenata, a razmera ispitivanja je bila veoma neujednačena. Kasnijom, sistematskom primenom aeroradiometrijske metode ispitani su oni tereni koji pripadaju unutrašnjem karpatskom pojasu kao i okolina Porečke reke (7), dok područje Stare planine nije zahvaćeno. U fazi poludetaljne prospekcije, primenom gama metode, istraženi su tereni Stare planine i Zaplanja, a ostala područja perma i permo-trijasa nisu obuhvaćena ovim vidom ispitivanja. Slične konstatacije, što se tiče neujednačenosti i nedovoljne istraženosti u vezi sa uranom, odnose se i na geološko-tektonska izučavanja.

U sedimentima unutrašnjeg karpatskog pojasa navedenim regionalnim ispitivanjima otkriveno je niz anomalija radioaktivnosti. Njihova najizrazitija koncentracija je duž JI oboda Rtanjsko-krepoljinske partije permskih peščara na dužini oko 20 km i u permo-trijaskoj partiji severno od Nišave, gde se javljaju u blizini kontakta sa okolnim formacijama (sl. 1). U ostalim partijama navedenih sedimenata severno od Resave i južno od Nišave, izuzimajući perm Zaplanja, regionalnom radiometrijskom prospekcijom nisu registrovane anomalije radioaktivnosti. Treba napomenuti da su i u području Suve planine uočene anomalije, među koje spada i ona na lokalnosti Zvonce gde nije razjašnjeno poreklo radioaktivnih blokova (6).

Većina anomalija radioaktivnosti otkrivenih u unutrašnjem karpatskom pojasu indicira lokalne koncentracije radioaktivnih elemenata descendentnog porekla. Neke pak ukazuju i na takve pojave koje zahtevaju dalja ispitivanja ne samo u njihovoj užoj već i u široj okolini. Među ove spadaju, na primer, lokalnosti Mečja Rupa, Suvara i Puzaljak, koje se nalaze u Rtanjsko-krepoljinskoj partiji permskih sedimenata (sl. 1). U području tih pojava uočava se obezbojavanje crvenih peščara u nešto širim razmerama. Zone izmenjenih, sivih peščara prostiru se na dužini i do 1 km, a njihova moćnost je preko 100 m. Po intenzitetu gama radioaktivnosti odlikuju se opštim povećanjem za 2—3 μR/h u odnosu na crvene peščare (7). Na lokalnosti Mečja Rupa sadržaj urana je do 400 gr/t, a sadržaj torijuma nekoliko gr/t, dok Ra ekv iznosi i 900. Ovde je konstatovan i povećan sadržaj bakra, molibdena, vanadijuma, nikla i dr. (7). Zone u kojima su registrovane anomalije radioaktivnosti karakterišu se i čestim pojavama mineralizacije bakra (6).

Za permske i permo-trijaske sedimente Stare planine može se reći da su na najvišem stepenu istraženosti u odnosu na ostale terene istočne Sr-

bije izgrađene od ovih tvorevina. Kao što je napred već rečeno, ovde su izvršena sistematska radiometrijska ispitivanja na celoj površini pomenutih sedimenata (250 km²) u razmeri 1 : 25.000 (V. S i m i ć). Na osnovu tih ispitivanja utvrđeno je da se zona permo-trijaskih sedimenata odlikuje opštim povećanjem radioaktivnosti u odnosu na permske sedimente. Osim toga, ona se izdvaja i kao zona u kojoj se koncentrišu anomalije radioaktivnosti (sl. 1). Među ove spadaju Jelovica, Đokinci, Temska, Rudinje itd. Neke lokalnosti su i detaljno istraživane uključujući rudarske radove i bušenja (Đokinci, Lokve, Jelovica). Na osnovu tih istraživanja (3) utvrđeno je prisustvo rudnih tela manjih dimenzija sa sadržajima i do 800 gr/t urana. Srednji sadržaji urana u nekim rudnim telima dostižu i 500 gr/t. Postignuti rezultati ukazuju na potrebu daljih izvođenja prospekciono-istražnih radova u ovom području.

Iz prethodnih razmatranja vidi se da je stepen istraženosti permskih i permo-trijaskih terigenih sedimenata veoma neujednačen i nedovoljan za donošenje konačne ocene o njihovoj uranonosnosti. Sedimentološko-litološke karakteristike ovih tvorevina, ukazuju na povoljnu sredinu za formiranje ležišta urana, s obzirom na odgovarajuće karakteristike sličnih sedimenata u kojima se nalaze ležišta urana od ekonomske važnosti u drugim zemljama. Međutim, određeniji zaključci o njihovoj perspektivnosti, u vezi sa mogućnošću otkrivanja značajnijih nalazišta urana, ne mogu se još uvek dati upravo zbog toga što je stepen njihove istraženosti nedovoljan. Otkrivene pojave mineralizacije i orudnjenja urana u izvesnoj meri ukazuju na njihovu perspektivnost, ali nisu takve da jasno navode na pozitivnu ocenu. Međutim, ako se prethodnim razmatranjima doda i činjenica da su u permskim sedimentima Rumunije otkrivena eksploatabilna ležišta, od kojih se jedno nalazi u unutrašnjem karpatskom pojasu (Čudanovica), a drugo u pojasu perma kod Dunava (Svinjica), koji se produžava u našu zemlju u području Porečke reke i ponovo javlja na Staroj planini (sl. 1), onda se neminovno nameće zaključak o potrebi daljih istraživanja urana u terigenim sedimentima perma i permo-trijasa, kako u unutrašnjem karpatskom pojasu tako i u pojasu Stare planine.

Da bi se upotpunilo objašnjenje pridavanja ovakvog značaja pomenutim sedimentima istočne Srbije, treba još istaći činjenicu da se jedno ležište od većeg ekonomskog značaja u Jugoslaviji nalazi baš u permskim peščarima (Žirovski Vrh). Prema tome, zasada se može reći da su u našoj zemlji najperspektivniji tereni za otkrivanje ležišta urana upravo oni gde se javljaju permski terigeni sedimenti i da njih treba intenzivno istraživati.

ZAKLJUČAK

Na osnovu interpretacije podataka radiometrijskih ispitivanja u području Zaplanja, koji su statistički analizirani uz korišćenje postojećih rezultata geološkog izučavanja, utvrđeno je da se neke od geoloških granica vrlo jasno radiometrijski indiciraju i da su u pogledu uranonosnosti od interesa sedimenti perma i miocena.

Najveća koncentracija anomalija radioaktivnosti je u sedimentima koji su bliži obodu kristalastih škriljaca, na JZ strani Zaplanjskog tektonskog rova. Mnoge od njih indiciraju lokalne, descendentne koncentracije radioaktivnih elemenata bez ekonomske vrednosti, dok neke ukazuju na

mogućnost otkrivanja značajnih pojava u odgovarajućim sedimentima šire oblasti istočne Srbije.

Najvažnije otkrivene pojave mineralizacije urana u području perma vezane su većinom za konglomerate (Gadžin Han), a u miocenu za peščare (D. Prisjan). Ranije pronalaženi visokoradioaktivni fragmenti uglja u nanosu, vode poreklo iz sočiva i žilica u peskovima i peščarima pliocena (Ravna Dubrava).

Neophodno je nastaviti istraživanja urana u permskim i permo-trijaskim terigenim sedimentima istočne Srbije na osnovu sledećih činjenica:

Otkrivene pojave mineralizacije i orudnjenja urana u području Zaplanja i na drugim mestima ove oblasti govore o uranonosnosti peščara i konglomerata pomenutih formacija. U permskim sedimentima pridunavskog dela Karpato-balkanida Rumunije otkrivena su eksploatabilna ležišta urana. U oblasti Karpato-balkanskog luka Jugoslavije, permski sedimenti nisu dovoljno istraženi. Odgovarajućim izučavanjima konstatovano je da pomenuti sedimenti predstavljaju povoljnu sredinu za formiranje ležišta urana. Permske i permo-trijaske tvorevine u istočnoj Srbiji zauzimaju znatnu površinu koja iznosi oko 800 km². Jedno ležište u Jugoslaviji od većeg ekonomskog značaja nalazi se baš u permskim peščarima (Žirovski Vrh). Sadašnje ocene o uranonosnosti pojedinih geoloških formacija u Jugoslaviji ne izdvajaju neku drugu formaciju kao perspektivniju u pogledu mogućnosti otkrivanja ležišta urana.

(Predato za štampu januara 1969. god.)

LITERATURA

1. Antonović A., 1958.: Stara Planina. Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.
2. Antonović A., 1962.: Izveštaj V grupe Stare planine za 1961. godinu. Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.
3. Cukućan M., 1963.: Prospekcija istraživanja urana u oblasti Stare planine, Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.
4. Čičulić M., 1961.: Rezultati geoloških ispitivanja terena u oblasti Zaplanja. Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, knjiga XIX, serija A, Beograd.
5. Mikinčić V., 1953.: Geološka karta Jugoslavije, razmera 1:500.000.
6. Naumović D., 1964.: Proučavanje crvenih permskih peščara Istočne Srbije, Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.
7. Petrović M., 1962.: Prospekcija urana iz vazduha u 1961. godini. Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.
8. Protić M., Antonović A., Jokanović V., Radošević S., 1963.: Razviće permskih terigenih sedimenata u Jugoslaviji i uranska mineralizacija u njima. II Jugoslovensko-Poljsko Savetovanje o geologiji i metodama istraživanja ležišta nuklearnih sirovina, Herceg Novi.
9. Protić M., 1967.: Sedimentološke karakteristike permskih i donjetrijaskih sedimenata Stare planine i uranska mineralizacija u njima. Radovi Instituta za nuklearne sirovine, godina III, br. 3, Beograd.
10. Sikošek B., Veselinović V., Vuković Lj., 1968.: Geološka karta Jugoslavije, razmera 1:500.000. Institut za istraživanje nuklearnih sirovina, Beograd.
11. Višić S., 1958.: Izveštaj o istraživanjima urana u sedimentima Zaplanjske oblasti. Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.
12. Vulović D., 1958.: Izveštaj o rudarskim radovima u s. D. Prisjan. Fond stručne dokumentacije Instituta za nuklearne sirovine, Beograd.

S u m m a r y

STANISLAV VIŠIĆ*

URANIUM MINERALIZATIONS IN SEDIMENTS OF ZAPLANJE AREA AND GENERAL LEVEL OF EXPLORATION OF PERMIAN FORMATIONS OF EASTERN SERBIA

Exploration for uranium by applying radiometric gamma-method have been carried out in Zaplanje area-eastern Serbia. They covered a part of Permian formations which belonge to the so called Inner Eelt of Carpatho-Balkan arch and sedimentary rocks of Tertiary basin as well as the geological formations around this narrow tectonic depression. (Fig. 1). At the same time detailed geophysical and geological investigations have been also carried out followed up with trenching, mining and drilling exploratory works on some localities.

On the basis of the interpretation of collected data, which have been statisticaly analized (Fig. 2) using the available data of geological exploration, it was found that some of geological boundaries can be indicated by the results of radiometric investigations demonstrating the possibility of application of this method as a useful tool for geological mapping. According to the obtained results of corresponding exploration works, the Permian and Miocene sediments can be considered as the most promising formations for discovery of uranium deposits in this region.

The principal concentration of gamma-ray anomales (Plate 1) corresponds to the sediments near the tectonic boundary between them and crystaline schists on the south-western margin of Zaplanje structural trough (Plate 2). Many of these anomales indicate the local and descedent concentrations of radioactive elements without any importance, but some of them point at the ore-baring stratigraphic horizons in the Permian and Miocene sedimentary rocks.

The most important uranium occurrances (Plate 2) in the Permian sediments are associated with the conglomerate (Gadžin Han) and in the Miocene sediments (Fig. 3) with the sandstones (D. Prisjan). Earlir discoveries of the high radioactive fragments of coal in the Alluvion of Mlaka and Pusta rivers originate from coal-bearing small lenses and veinlets which exist in the Pliocene sands and sandstones (Ravna Dubrava).

Based on the detailed studies of available data concerrning the Permian and Permo-triassic sediments of the Yugoslav part of Carpatho-Balkan arch (Fig. 1), the autror emphasises the necessity for further explorations of uranium in these sediments due to the facts as follows:

The discovered uranium mineralization and ore occurrances in the Permian sediments of Zaplanje area and other localities of eastern Serbia point at the possibilities of existance of uranium deposits in these sediments. The exploatable uranium deposits associated with the same type of Permian formations have been already discovered in the Romanian part of Carpatho-Balkanids (Fig. 1). Corresponding sediments of the same

* Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

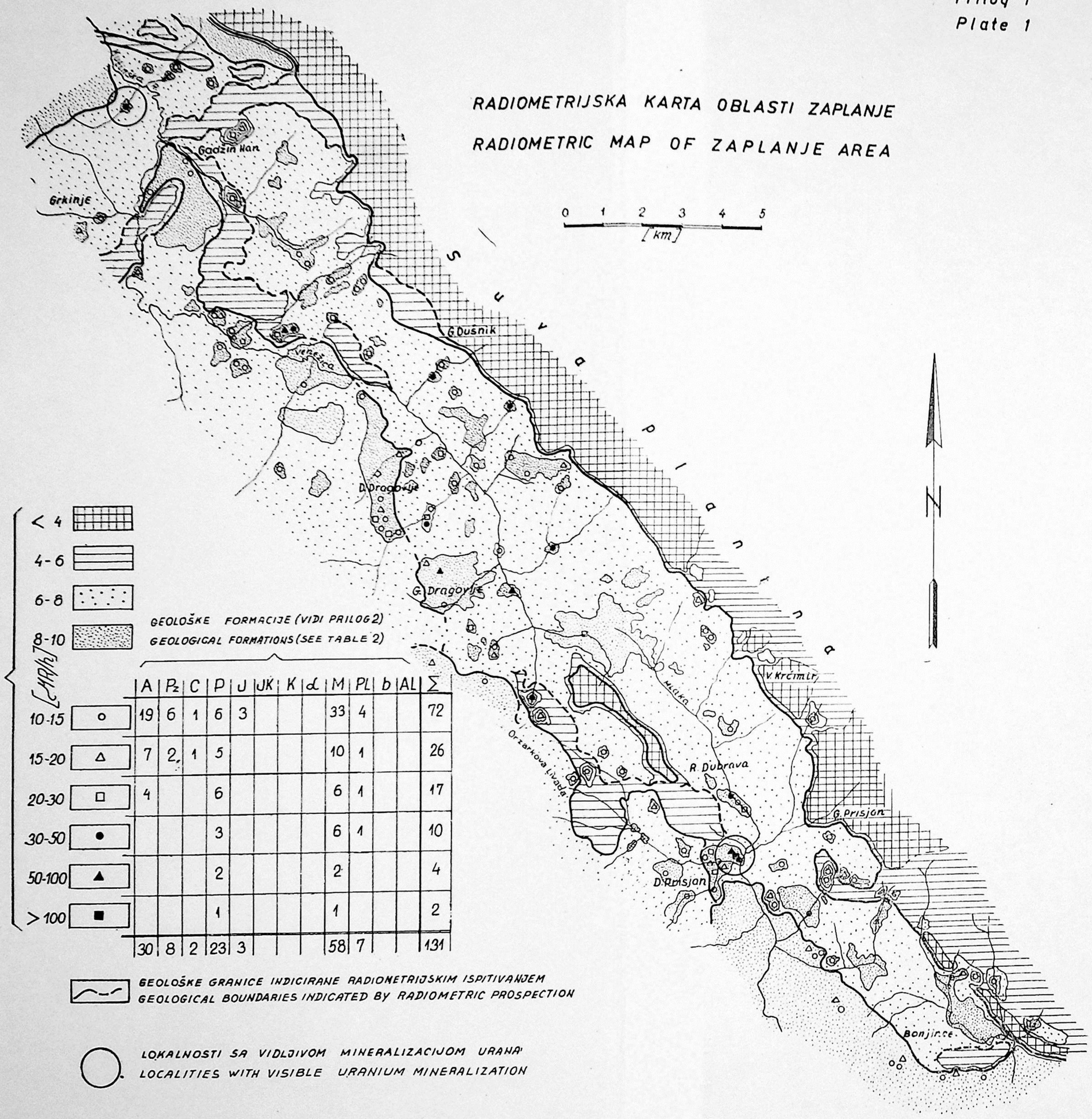
geological formations in the Yugoslav part of Carpatho-Balkan arch are not sufficiently explored. Some of their essential geological and other characteristics demonstrate that the Permian and Permo-triassic terrigenus sediments in this region are favorable environment for deposition of uranium. They are exposed on the considerable surface amounting aproximately 800 km² of eastern Serbia. The most important uranium deposit in Yugoslavia (Žirovski Vrh) is also associated with Permian sediments. Present evaluations about favorable geological formations for discovery of uranium deposits does not select some other formation as more promising then Permian sediments.

Prilog 1
Plate 1

RADIOMETRIJSKA KARTA OBLASTI ZAPLANJE

RADIOMETRIC MAP OF ZAPLANJE AREA

0 1 2 3 4 5
[km]



INTENZITET GAMA RADIOAKTIVNOSTI
GAMMA-RAY INTENSITY [mR/h]

< 4	
4-6	
6-8	
8-10	

GEOLOŠKE FORMACIJE (VIDI PRILOG 2)
GEOLOGICAL FORMATIONS (SEE TABLE 2)

	A	P_z	C	P	J	JK	K	d	M	PL	b	AL	Σ
10-15 ○	19	6	1	6	3				33	4			72
15-20 △	7	2	1	5					10	1			26
20-30 □	4			6					6	1			17
30-50 ●				3					6	1			10
50-100 ▲				2					2				4
> 100 ■				1					1				2
	30	8	2	23	3				58	7			131

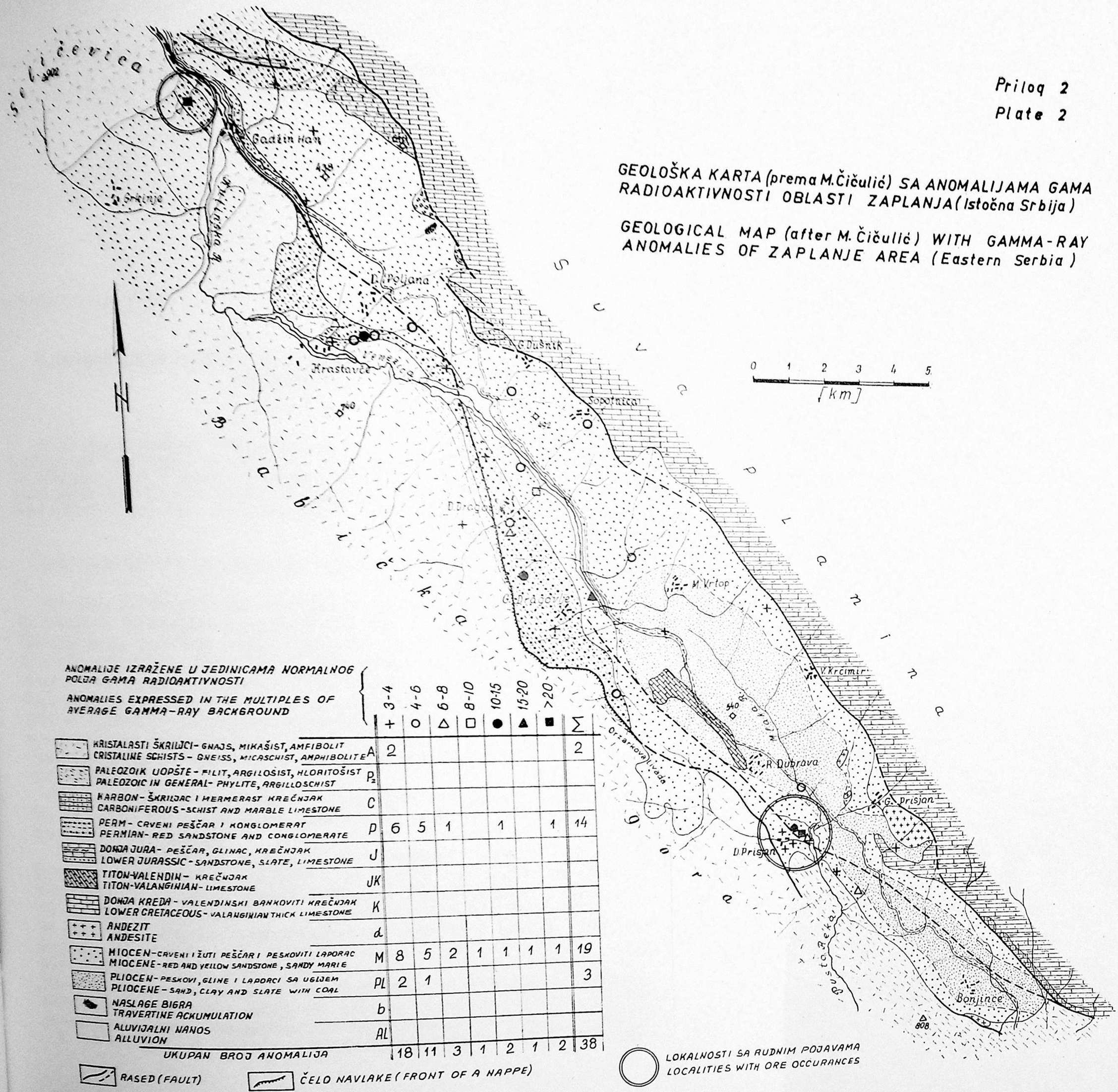
GEOLOŠKE GRANICE INDICIRANE RADIOMETRIJSKIM ISPITIVANJEM
GEOLOGICAL BOUNDARIES INDICATED BY RADIOMETRIC PROSPECTION

LOKALNOSTI SA VIDLJIVOM MINERALIZACIJOM URANA
LOCALITIES WITH VISIBLE URANIUM MINERALIZATION

Prilog 2
Plate 2

GEOLOŠKA KARTA (prema M. Čičulić) SA ANOMALIJAMA GAMA RADIOAKTIVNOSTI OBLASTI ZAPLANJA (Istočna Srbija)

GEOLOGICAL MAP (after M. Čičulić) WITH GAMMA-RAY ANOMALIES OF ZAPLANJE AREA (Eastern Serbia)



ANOMALIJE IZRAŽENE U JEDINICAMA NORMALNOG POLJA GAMA RADIOAKTIVNOSTI

ANOMALIES EXPRESSED IN THE MULTIPLES OF AVERAGE GAMA-RAY BACKGROUND

		3-4 (+)	4-6 (○)	6-8 (△)	8-10 (□)	10-15 (●)	15-20 (▲)	>20 (■)	Σ
KRISTALASTI ŠKRILJCI - GNAJS, MIKAŠIST, AMFIBOLIT CRISTALINE SCHISTS - GNEISS, MICASCHIST, AMPHIBOLITE	A	2							2
PALEOZOIK UOPŠTE - FILIT, ARGILOŠIST, HLORITOŠIST PALEOZOIC IN GENERAL - PHYLITE, ARGILLOSCHIST	P_2								
KARBON - ŠKRILJAC I MERMERAST KREČNJAK CARBONIFEROUS - SCHIST AND MARBLE LIMESTONE	C								
PERM - CRVENI PEŠČAR I KONGLOMERAT PERMIAN - RED SANDSTONE AND CONGLOMERATE	P	6	5	1		1		1	14
DONJA JURA - PEŠČAR, GLINAC, KREČNJAK LOWER JURASSIC - SANDSTONE, SLATE, LIMESTONE	J								
TITON-VALENDIN - KREČNJAK TITON-VALANGINIAN - LIMESTONE	JK								
DONJA KREDA - VALENDINSKI BANKOVITI KREČNJAK LOWER CRETACEOUS - VALANGINIAN THICK LIMESTONE	K								
ANDEZIT ANDESITE	a								
MIOCEN - CRVENI I ŽUTI PEŠČAR I PESKOVITI LAPORAC MIOCENE - RED AND YELLOW SANDSTONE, SANDY MARLE	M	8	5	2	1	1	1	1	19
PLIOCEN - PESKOVI, GLINE I LAPORCI SA UGLJEM PLIOCENE - SAND, CLAY AND SLATE WITH COAL	PL	2	1						3
NASLAGE BIGRA TRAVERTINE ACKUMULATION	b								
ALUVIJALNI NANOS ALLUVION	AL								
UKUPAN BROJ ANOMALIJA		18	11	3	1	2	1	2	38

RASED (FAULT)

ČELO NAVLAKE (FRONT OF A NAPPE)

LOKALNOSTI SA RUDNIM POJAVAMA
LOCALITIES WITH ORE OCCURANCES

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

SVETISLAV PEJATOVIĆ

UDK = 553.3/.9(497.11)

O INTRASEKTORSKOJ ZONALNOSTI HIDROTERMALNIH ORUDNJENJA

(sa 1 slikom)

Na primeru Šumadijske metalogenetske zone i osobenosti primarne zonalnosti hidrotermalnih orudnjenja u okviru njenog intrageoantiklinalnog sektora razmatra se ovaj tip zonalnosti kao i razlike u odnosu na regionalnu i prelaznu. Prikazuju se neki mogući faktori, koji utiču na formiranje intrasektorske zonalnosti i naglašava njen značaj u kvalitativnoj oceni metalogenetskog profila matičnog strukturnog sektora.

POSTOJEĆI TIPOVI ZONALNOSTI HIDROTERMALNIH ORUDNJENJA

Zonalnost hidrotermalnih orudnjenja kao i zonalnost endogenih uopšte definiše se promenom hemijskog i ili mineralnog sastava u prostoru. Takve promene izazivaju različiti geološki faktori — počev od evolucije u razvoju rudnih regiona i njenih specifičnosti pa do mehanizma orudnjenja u individualnim rudnim telima. Shvatljivo je da će izraženiji tektonsko-magmatski procesi i karakter njihove promene bitno uticati na prostorni razmeštaj asocirajućih orudnjenja dok će lokalni faktori kao što su sastav okolnih stena, dovodni kanali za rudne rastvore, sastav rastvora i hemizam odlaganja minerala uticati na prostornu mineralnu i hemijsku građu rudnih tela.

Uzorci nastajanja zonalnosti hidrotermalnih orudnjenja, uopšte uzev nisu jednorodni, pa prema tome ima mesta stanovištu da postoji i više tipova njihove zonalnosti.

Na osnovu genetskih osobenosti u nastojanju i razmere u kojoj se pojavljuje, V. I. Smirnov (1963) izdvaja (1) regionalnu, odnosno metalogenetsku ili zonalnost rudnih pojaseva; (2) prelaznu ili zonalnost u okviru rudnih polja i ležišta, i (3) zonalnost u okviru individualnih rudnih tela. Po razmerama rasprostranjenosti identičnu podelu zonalnosti predlažu i Č. Park i R. Makdormid (1964) izdvojivši (1) regionalnu zonalnost, (2) zonalnost rudnih rejona, i (3) zonalnost rudnih tela. Između navedenih klasifikacija zonalnosti, koje se smatraju u sadašnjem vremenu kao vodeće, bez obzira na njihovu formalnu sličnost, postoje principijelne razlike u tumačenju uzroka nastojanja zonalnosti. Č. Park i R. Makdormid baziraju svoju podelu zonalnosti isključivo na raz-

meri pojavljivanja, objašnjavajući sve tipove zonalnosti kao posledicu postupnog odlaganja minerala po putu kretanja rudnih rastvora. Klasifikacija V. I. S m i r n o v a počiva, pored ovih i na drugim geološkim faktorima. J. K u t i n a (1957, 1963) izdvaja poliascedentnu zonalnost, koja po bitnim genetskim uzročnicima odgovara prelaznoj zonalnosti u shvatanju V. I. S m i r n o v a, objašnjavajući je pulzacionom prirodom rudnog procesa. Pored navedenih postoje i mnogi drugi radovi u kojima se razmatraju pojedini aspekti problema zonalnosti. Sva savremena gledišta o problemu zonalnosti polarizuju se oko dva shvatanja.

Starije i rasprostranjenije gledište tretira zonalnost kao univerzalnu, koja je uvek izazvana paragenetskom postupnošću odlaganja minerala koju uslovljava: postupno odvajanje rudnih rastvora, stabilnost rastvora, forme prenošenja rudne supstance i dr. faktorima, dakle, faktorima predisponiranim evolucijom magmatskog ognjišta (kao verovatnog izvora rastvora) u toku rudnog procesa.

Drugo, zasada manje rasprostranjeno gledište bazira se na postavci da je proces orudnjavanja deo opštih geoloških procesa oličenih u tektonsko-magmatskoj evoluciji i da podležu uticaju ovih procesa u vremenu i prostoru, stvarajući na taj način ne samo različite genetske tipove orudnjenja nego i njihov, strogo određen, prostorni razmeštaj. Pri ovome paragenetsko odlaganje minerala ima svoje mesto, pošto se evolucija magmatskih ognjišta u toku orudnjavanja uklapa u tektonsko-magmatsku evoluciju kao njen integralni deo.

Saglasno prednjem gledištu mogu se dati osnovne genetske karakteristike izdvojenih tipova primarne rudne zonalnosti (S m i r n o v, 1963, 1965) i njihove povezanosti sa tektonsko-magmatskom evolucijom mobilnih (geosinklinalnih) regiona.

Regionalna zonalnost se manifestuje u vidu posebnih rudnih pojaseva u odnosu na poprečni presek ubranog regiona. Ova zonalnost se formira u toku polietapnog preobražaja geosinklinala ili njihovih sistema u relativno stabilne ubrane zone ili oblasti, kada se tokom pojedinih razvojnih etapa vrši plasman endogenih produkata u određene delove (zone ili sektore) pri čemu nastaju rudni pojasevi posebnih tipova orudnjenja, koji su najčešće izduženog oblika i saglasni sa generalnim pružanjem matičnih sektora. Rudni pojas se, dakle, stvara u toku jednog tektonskog sektora. Tako nastali rudni pojasevi su vrlo postojani i karakteristični za sve razvojne tipove geosinklinala, zbog čega se zonalnost rudnih pojaseva smatra kao univerzalna u geosinklinalnim regionima. Najčešće se rudni pojasevi formiraju, u zavisnosti od razvojnog tipa geosinklinale, u toku samo jedne etape kada se nazivaju prostim (monoetapnim) pojasevima ili ređe u toku više etapa kada se zovu kombinovani (polietapni). Monoetapni pojasevi vrlo često nastaju na bazi dominirajućih uticaja dubinskih razloma u toku rane i završne etape.

Prelazna zonalnost se najčešće formira u toku srednje razvojne etape tj. u vreme glavne faze ubiranja, kada se oko granitoidnih intruzija stvaraju raznovrsna i zonalno razmeštena orudnjenja. Tokom srednje etape aktivnost dubinskih razloma obično zamire, pa se rudni rastvori koriste intruzivnim deformacijama (novostvorenim ili oživljenim) a orudnjenja deponuju bliže ili dalje oko intruziva. Na ovaj način formirana zonalnost se odlikuje promenom sastava orudnjenja u pravcu udaljavanja od intru-

ziva. U takvim zonama skoro uvek se nalaze zajednički metali ili minerali što ukazuje na pulzacioni karakter celog rudnog procesa. Pored jedinstva geološke građe, koja je takođe jedna od bitnih karakteristika ove zonalnosti, ona se često odlikuje i ekscentričnim intenzitetom orudnjavanja, pošto su uvek izrazitije orudnjeni krovinski delovi sa blagim padnim uglom. Jasan i lep primer ove zonalnosti javlja se oko Boranjskog granodioritskog intruziva (J a n k o v i ć, 1964).

Lokalna zonalnost može biti zastupljena u rudnim telima stvaranim tokom svih etapa razvoja geosinklinalnog regiona. Ona se karakteriše promenljivom izraženošću i vrlo raznovrsnim faktorima koji je izazivaju. Na osnovu dominirajućih faktora formiranja V. I. S m i r n o v (1957) izdvaja dve osnovne grupe lokalne zonalnosti: stadijnu (zonalnost ponovljenih tektonskih deformacija, zonalnost tektonskog otkrivanja i zonalnost interrudne metasomatoze) i facijalnu (zonalnost filtracije, zonalnost sastava okolnih stena i zonalnost odlaganja minerala).

Regionalna zonalnost, besumnje, predstavlja najuočljiviji i »najčistiji« tip primarne rudne zonalnosti — naziva se često i metalogenetskom — i smatra zonalnošću najvećeg poretka. Takav rang regionalne zonalnosti prihvatljiv je, pre svega, za orudnjenja stvarana u monocikličnim rudnim regionima i pojedinim strukturnim etažima sa simultanom metalogenetskom produkcijom u polucikličnim regionima. Što se tiče policikličnih regiona kao rudnih celina ona ne mora biti zonalnost najvećeg ranga, pošto u takvim regionima metalogenetska produkcija ima evolutivni karakter (zakonomernost prvog reda) pa se svaki strukturni etaž obično odlikuje određenim rudnim produktima u zavisnosti od obeležja odgovarajućeg tektonsko-magmatskog ciklusa. Metalogenija pojedinih ciklusa predstavlja samo delove opšte — zajedničke metalogenije, odnosno jedinstvenog metalogenetskog niza celog megaciklusa. U zavisnosti od superpozicije i prostornih odnosa između etaža u policikličnom regionu može se pojaviti i rudna zonalnost većeg ranga od regionalne. Takva zonalnost koja bi označavala prostorne odnose između orudnjenja tektonsko-magmatskih ciklusa kao celina nije posebno izdvojena i smatra se regionalnom (kombinovani rudni pojasevi V. I. S m i r n o v a). Po podacima A. D. Š č e g l o v a endogena orudnjenja bajkalskog, kaledonskog i hercinskog tektonsko-magmatskog ciklusa u policikličnom regionu zapadnog Zabajkalja tačno odgovaraju rasprostranjenosti tektonskih jedinica-matičnih etaža, ali ih i on izdvaja kao regionalne rudne pojaseve, odnosno takvu zonalnost tretira kao regionalnu (Š č e g l o v, 1963) iako je jasno da oni u genetskom smislu predstavljaju monociklične asocijacije rudnih pojaseva, pa se prema tome u izvesnoj meri i razlikuju od individualnih rudnih pojaseva.

Sa druge strane, hidrotermalna orudnjenja stvarana u toku samo jedne etape tektonsko-magmatskog ciklusa i lokalizovana u okviru jednog tektonskog sektora geosinklinalnog regiona, mestimično imaju prostorni raspored tako da se unutar sektora mogu izdvojiti posebni pojasevi orudnjenja — stvarani u kraćem vremenskom razdoblju i lokalizovani na manjem prostoru nego regionalni rudni pojasevi. Takva zonalnost, pošto označava zakonomernosti prostorne promene sastava orudnjenja unutar jednog tektonskog sektora nazvana je intrasektorskom a pojasevi orudnjenja intrasektorskim (P e j a t o v i ć, 1969).

Sve to ukazuje da prikazani tipovi rudne zonalnosti regionalnog, prelaznog i lokalnog ranga nisu dovoljni da bi se pomoću njih objasnili i drugi — navedena su dva — slučajevi manje rasprostranjenih i još uvek nedovoljno proučenih tipova primarne rudne zonalnosti.

Ukoliko, pak, ne izdvojimo intrasektorsku zonalnost kao poseban genetski tip primarne zonalnosti i ostanemo pri sada važećim klasifikacijama, onda je možemo, u krajnjem slučaju, smatrati kao poseban podtip regionalne zonalnosti kojom se karakterišu individualni tektonski sektori geosinklinalnih regiona i razmeštaj simultano stvaranih hidrotermalnih orudnjenja u njima.

Intrasektorska zonalnost označava, dakle, zonalnost koja je po formi pojavljivanja vrlo slična regionalnoj i manifestuje se izduženim pojasevima saglasnim po pružanju sa generalnom orijentacijom matičnog sektora. Međutim, kao što smo videli, vreme formiranja intrasektorske zonalnosti iznosi jednu razvojnu etapu — dakle, u opštem slučaju jednu trećinu vremena potrebnog za formiranje regionalne zonalnosti pri čemu se regionalna zonalnost manifestuje u celom geosinklinalnom regionu a intrasektorska samo u jednom sektoru takvog regiona.

Istaknuta uloga u formiranju intrasektorske zonalnosti pored ostalih pripada i uticaju dubinskih razloma — perifernih i intrazonalnih. Ovaj uticaj je, po svoj prilici i dominantan, jer bi se u protivnom intrasektorska zonalnost uvek pojavljivala u svim tektonskim sektormia geosinklinalnih regiona, što očigledno nije slučaj.

Na primeru Šumadijske metalogenetske zone razmatraćemo dva slučaja primarne rudne zonalnosti: regionalnu i intrasektorsku, pošto ova metalogenetska jedinica predstavlja instruktivnu rudnu strukturu za njihovo razlikovanje.

REGIONALNA I INTRASEKTORSKA ZONALNOST ENDOGENIH ORUDNJENJA U ŠUMADIJSKOJ METALOGENETSKOJ ZONI

Šumadijska zona kao deo Srpsko-makedonske metalogenetske provincije formirala se evolucijom istoimenog fragmenta geosinklinalnog sistema* u alpskom tektonsko-magmatskom ciklusu. Formiranje zone je izvršeno u toku tri sukcesivna razvojna perioda — etape razvoja, koji se odlikuju zakonomernim smenjivanjem tektonsko-magmatskih procesa i orudnjavanja. Po zakonomernostima razvoja razmatrani fragment geosinklinalnog sistema ima sva razvojna obeležja geosinklinale-prototipa (geosinklinale tipa »B«, Smirnov, 1962).

Prva, rana ili inicijalna razvojna etapa (J_2?—K_2) može se u saglasnosti sa obeležjima geosinklinale-prototipa podeliti na dve razvojne podetape. U starijoj podetapi (J_2—K_1) došlo je do stvaranja primarne geosinklinalne depresije između, u to vreme, vrlo aktivnih dubinskih razloma duž kojih su utiskivane sočivaste ultrabazične intruzije sa kojima asociraju magnetitska i azbestna orudnjenja. U toku razvoja ultrabazične intruzije smenjuje utiskivanje gabroidnih malih intruzija plasiranih većinom u peri-

* Pod geosinklinalnim sistemom podrazumeva se deo geosinklinale, koji kao geološka struktura ima najmanje dva individualisana tektonska sektora i autonomna obeležja magmatske i rudne produkcije.

fernim delovima primarne zone. Ova podetapa je završena delimičnom inverzijom primarne depresije. U mlađoj razvojnoj podetapi (K_1—K_2) stvorene su i zapunjene terigenim i karbonatnim sedimentima sekundarne geosinklinalne depresije. Podetapa se karakteriše odsustvom magmatskih procesa i endogenog orudnjavanja, izuzev što su u primarnoj zoni stvarana sedimentna ili sedimentno-eshalaciona manganova orudnjenja.

Endogeno orudnjavanje karakteriše samo prvu razvojnu podetapu i ono se lokalizuje isključivo u domenu primarne zone, odnosno intrageosinklinalnog tektonskog sektora, stvarajući na taj način poseban (intrageosinklinalni) rudni pojas sa svim obeležjima rudnog pojasa u regionalnoj zonalnosti.

Druga, srednja ili sinorogena razvojna etapa (K_2—Pg_1) počinje glavnom fazom ubiranja i potpunom inverzijom geosinklinalnih depresija koje je bilo praćeno granodioritskim intruzijama lokalizovanim u predelu intrageoantiklinalnog sektora kao napr. Brajkovački granodioritski intruziv. Prema današnjem poznavanju, granodioriti nisu praćeni endogenim orudnjavanjem — izuzev što u pegmatitskim, kvarc-pegmatitskim i kvarcnim žicama koje prate ove intruzije može biti odgovarajućih retkometalnih orudnjenja ili mineralizacija. No, bez obzira na to, magmatizam srednje razvojne etape je u celini vrlo siromašan u poređenju sa magmatizmom ostalih razvojnih etapa.

Treća, završena ili subsekventna razvojna etapa (Pg_1—N_2) se odlikuje, od početka intenzivnom tektonskom delatnošću povezanom sa dubinskim razlomima i utiskivanjem monconitskih, granosijentskih, kvarcporfirskih magmata, odnosno granitoidnih malih intruzija razmeštenih u domenu intrageoantiklinalnog sektora, sa izrazitijom koncentracijom u blizini Centralnog dubinskog razloma. Njih u toku razvoja smenjuje vrlo intenzivna andezit-dacitska vulkanska aktivnost kontrolisana vulkanskim aparatima u središnom delu intrageoantiklinalnog sektora ili u domenu perifernih dubinskih razloma.

Sa magmatizmom završne razvojne etape asociraju brojna i raznovrsna hidrotermalna orudnjenja. Sa granitoidnim malim intruzijama su povezana skarno-polimetalna orudnjenja a sa andezit-dacitskim vulkanizmom starije faze olovo-cinkova i, verovatno, antimonova i živina. Mnogobrojna orudnjenja urana paragenetski asociraju sa vulkanizmom mlađe faze i kontrolišu se perifernim razlomima Bukuljskog zaostalog masiva ili tektonikom vulkanskih aparata u južnom delu intrageoantiklinalnog sektora.

Sva orudnjenja završne etape razvoja izuzev delimično Sb i Hg orudnjenja razmeštena su u domenu intrageoantiklinalnog sektora i formiraju regionalni rudni pojas složenog sastava.

Prostorno razdvajanje endogenih orudnjenja stvaranih u toku razvoja Šumadijske ubrane zone je jasno izraženo i odgovara kriterijima izdvajanja rudnih pojaseva u regionalnoj zonalnosti (S m i r n o v, 1963, 1965); tako da se mogu razlikovati:

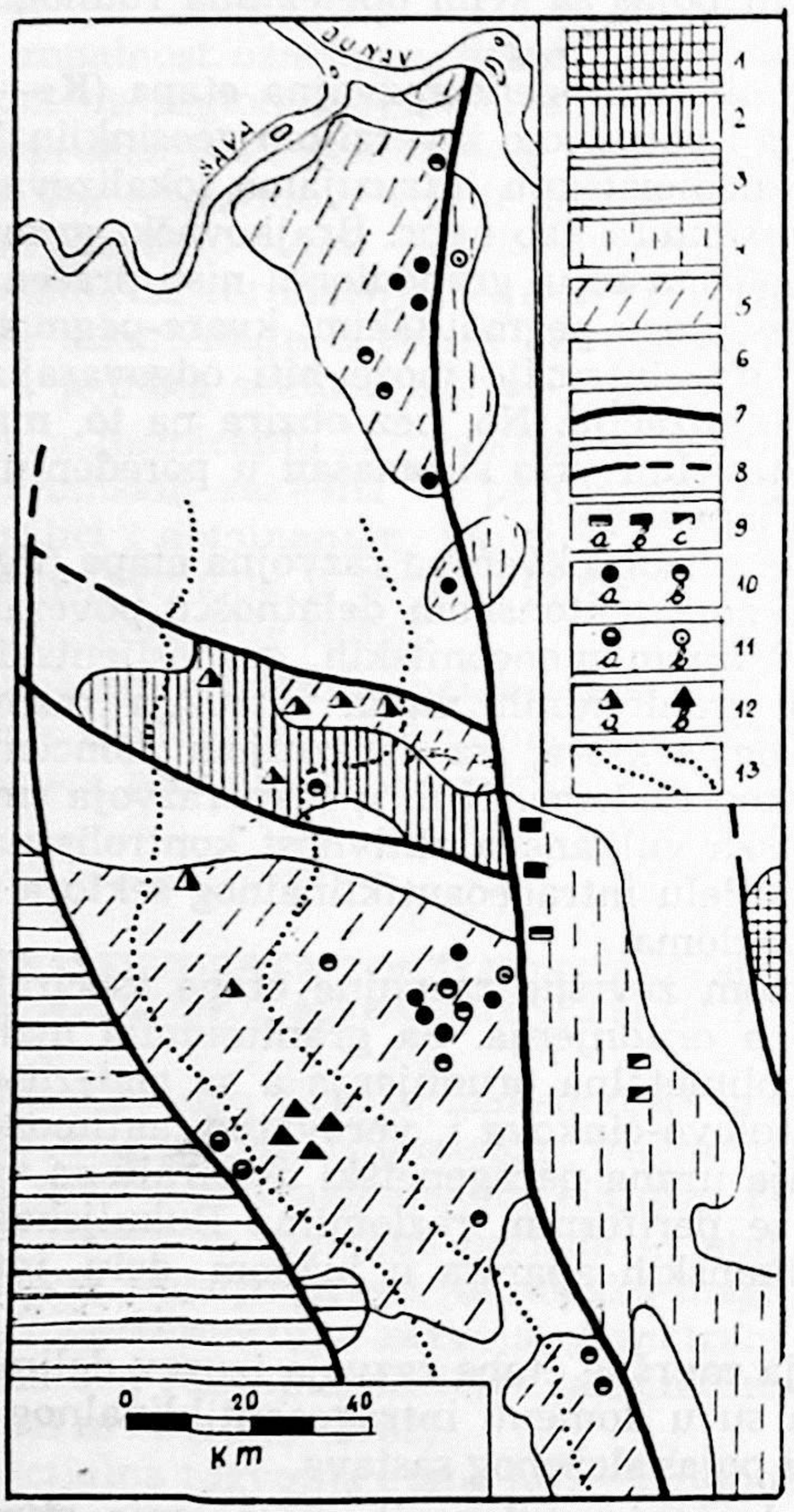
— intrageosinklinalni rudni pojas (magnetitska, azbestna i manganova orudnjenja) stvaran u toku rane razvojne etape i lokalizovan u okviru intrageosinklinalnog tektonskog sektora, i

— intrageoantiklinalni rudni pojas (skarno-polimetalna, olovo-cinkova, antimonova, živina i uranova orudnjenja) stvaran u toku završne ra-

zvojne etape i lokalizovan, uglavnom u okviru intrageoantiklinalnog tektonskog sektora.

Tako manifestovana regionalna zonalnost je izrazito jasna i vrlo kontrasna i pored toga što je Šumadijska ubrana zona relativno sasvim mala (60—120 km. u poprečnom preseku).

Međutim, pojasni raspored hidrotermalnih orudnjenja karakterističan je i unutar intrageoantiklinalnog tektonskog sektora, između orudnjenja stvaranih u toku pojedinih faza završne razvojne etape (sl. 1).



Sl. 1. — Šematski raspored orudnjenja u Šumadijskoj metalogenetskoj zoni.
1. Srpsko-Makedonski središni masiv, 2. Bukuljski zaostali masiv, 3. Dinarska ubrana oblast, 4. Intrageosinklinalni sektor Šumadijske zone, 5. Intrageoantiklinalni sektor Šumadijske zone, 6. Postgeosinklinalne orogene depresije, 7. Centralni šumadijski dubinski razlom, 8. Periferni dubinski razlolmi, 9. Orudnjenja intrageosinklinalnog rudnog pojasa (a — asbestna, b — magnetitova, c — manganova), 10—12. Orudnjenja intrageoantiklinalnog rudnog pojasa, 10. Polimetalni intrasektorski pojas (a — skarno-polimetalna orudnjenja, b — olovo-cinkova orudnjenja), 11. Teletermalna orudnjenja (a — antimonova, b — živina), 12. Uranov intrasektorski pojas (a — sopstveno uranova orudnjenja, b — apatit-uranova orudnjenja), 13. Granice intrasektorskih pojaseva.

Kao što se vidi i iz priložene šeme prostornog rasporeda endogenih orudnjenja u Šumadijskoj metalogenetskoj zoni, mogu se izdvojiti i posebni pojasevi hidrotermalnih orudnjenja u okviru intrageoantiklinalnog tektonskog sektora kao:

— polimetalni intrasektorski pojas (skarno-polimetalna i olovo-cinkova orudnjenja) lokalizovan u graničnom delu sektora i neposrednoj blizini Centralnog dubinskog razloma, i

— uranov intrasektorski pojas (sopstveno uranova i apatit-uranova orudnjenja) lokalizovan u središnom delu sektora.

Tako individualisani intrasektorski pojasevi ne samo što se razlikuju po kontrastnom prostornom razmeštaju već i po nizu drugih osobina kao što su endogene promene okolnih stena, strukturna kontrola orudnjavanja itd. O tome svedoči i nedostatak zajedničkih — vezanih metala i minerala, čije je postojanje, kao što je napomenuto, jedna od bitnih komponenti prelazne zonalnosti. Naime, u skarno-polimetalnim i olovo-cinkovim orudnjenjima nema nikakvih tragova uranovih minerala a u uranovim orudnjenjima korelativne sulfidne mineralizacije; sulfidni minerali koji se sreću u uranovim orudnjenjima su preuranski i procesi orudnjavanja uranom su impozitivnog karaktera. Sa druge strane alteracije okolnih stena su, takođe, individualisane: za sulfidna orudnjenja karakteristična je silifikacija i propilitizacija a za uranova kaolinizacija i mestimično ocrvenjavanje.

Sve ovo svedoči o vremenskoj razdvojenosti stvarajna orudnjenja u intrasektorskim pojasevima, razdvojenosti koja nema karakteristike pulzacionog procesa.

Pri detaljnijem razmatranju tektonsko-magmatske evolucije u završnoj razvojnoj etapi uočava se permanentno odilaženje tektonsko-magmatskih procesa u periferne delove, što se odražava i na plasman endogenih produkata (magmatskih i rudnih). Takva zakonomernost je izražena zaključno sa formiranjem sulfidnih orudnjenja i ona je saglasna sa opštom tendencijom razvoja geosinklinalnih regiona u završnoj etapi. Međutim, u vreme stvaranja uranovih orudnjenja, koja su — kao što je rečeno, najmlađa, endogeni procesi se ponovo vraćaju i intenziviraju u središnom delu intrageoantiklinalnog sektora. Fenomen vraćanja ovih procesa prema centru njihove ranije aktivnosti umnogome predisponira i pojavu intrasektorske zonalnosti.

Poznato je, naime, da se akumulacija urana vrši u apikalnim delovima magmatskih ognjišta; odvajanje uranonosnih rastvora se vrši u vreme izrazitije migracije ognjišta u dubinu i da uranonosna faza orudnjavanja nastupa u periodu koji prethodi zamiranju aktivnosti ognjišta bilo da se ona inicira posebnom magmatskom fazom kao što je slučaj u Šumadijskoj zoni bilo da magmatizam izostaje.

U povezivanju konkretnih tektonsko-magmatskih uslova u završnoj razvojnoj etapi Šumadijske metalogenetske zone i opštih geohemijskih svojstava urana u evoluciji magmatskih ognjišta može se tražiti osnovni preduslov za pojavu intrasektorske zonalnosti.

U tom kontekstu ima mesta pretpostavci da je forma magmatskih ognjišta u vreme odvajanja uranonosnih rastvora bila manje-više saglasna sa generalnom formom intrageoantiklinalnog sektora koji je već skoro bio formiran u definitivnom obliku tj. da je bila izduženog oblika. Api-

kalni delovi ognjišta su inicirani istovremeno na celoj dužini sektora jednom tektonskom fazom. Kako je tokom cele završne razvojne etape intrageoantiklinalni sektor bio jedini centar magmatske delatnosti to je normalno da se pri migraciji magmatskog ognjišta u dubini tektonikom pobude njegovi svodni delovi tj. oni delovi koji se, pri saglasnoj formi ognjišta i intrageoantiklinalnog sektora, nalaze u sredini sektora. Pri takvom pobuđivanju uranonosni rastvori su koristili hipsometrijske deformacije stvarane u toku ranijih tektonskih faza u alpskom ciklusu ili i deformacije starijih ciklusa kao što su periferni razlomi Bukuljskog zaostalog masiva. Često su rastvori koristili tektoniku vulkanskih aparata, lokalizujući orudnjenja oko ovih strukturnih formi, kao što je slučaj u južnom delu intrageoantiklinalnog sektora.

Navedena obeležja i specifičnosti tektonsko-magmatske evolucije u vreme stvaranja sulfidnih i uranovih orudnjenja kao i mogući uticaj forme magmatskog ognjišta nisu verovatno i jedini uzročnici stvaranja ove zonalnosti. Da bi se bitni uzročnici nastajanja intrasektorske zonalnosti detaljnije proučili i razlikovali od lokalnih potrebno je da se ona prouči i u drugim metalogenetskim zonama.

Za sada se može naglasiti praktični značaj izdvajanja intrasektorske zonalnosti u Šumadijskoj zoni pošto se ona u poslednjih nekoliko godina dosta koristi u prospekciji, istraživanjima i evaluaciji uranovih orudnjenja. Slične konsekvence se mogu koristiti i pri obradi sulfidnih orudnjenja posebno orudnjenja u polimetalnom intrasektorskom pojasu. Pri tome u praktičnom pogledu nije najbitnije da li se pomenuti pojasevi stoprocentno prostorno razdvajaju ili ima mestimičnog impozitivnog naleganja — već saznanje, statistički potvrđeno, da se najperspektivniji prostori za pronalaženje novih orudnjenja nalaze u okvirima matičnih intrasektorskih pojaseva. Do danas nije zabeležen ni jedan slučaj prostornog »mešanja« i može se smatrati da oni egzistiraju na celoj dužini Šumadijske zone tj. i u delovima koji su pokriveni sedimentima postgeosinklinalnog perioda.

Izdvajanje intrasektorske zonalnosti odnosno intrasektorskih pojaseva umnogome olakšava kvalitativnu metalogenetsku ocenu metalogenetskog profila intrageoantiklinalnog sektora i njegovog rudnog pojasa. Pri oceni, koja se bazira na reglamentaciji intenziteta i ekstenziteta pojavljivanja orudnjenja u pojedinim intrasektorskim pojasevima, uočava se da su orudnjenja polimetalnog pojasa prvorazredna a da orudnjenja u uranovom pojasu pripadaju drugorazrednim po značaju. Teletermalna orudnjenja Sb i Hg, koja se ne mogu izdvojiti u poseban intrasektorski pojas i koja se ne pojavljuju regularno — predstavljaju trećerazredna orudnjenja intrageoantiklinalnog sektora.

(Predato za štampu marta 1969.)

LITERATURA

Janković S., 1964: — Opšte odlike tercijarne olovo-cinkove metalogenije Zapadne Srbije. Zb. rad. Rudarsko-geološkog fakulteta, KNU. Beograd.

Kutina J., 1957: — The zonal theory of ore deposits. Economic Geology, Volume 52, No 3.

Kutina J., 1963: — Poliascedentnaja rudnaja zonalnost. Zb. rad. Konferencija — Problemi postmagmatičeskovo rudoobrazovanija, Tom 1, AN ČSSR. Prag.

Park C. F. and MacDiarmid R. A., 1964: — Ore deposits. W. H. Freeman and Co, San Francisco.

Pejatović S., 1969: — Nekotorie osobenosti zonalnosti endogenih orudnenij Šumadijskoj metalogeničeskoj zoni (u štampi).

Smirnov V. I., 1957: — Šest tipova zonalnosti gidrotermaljnih tel. Izv. AN ČSSR, ser. geol. No 3.

Smirnov V. I., 1962: — Metalogenija geosinklinaljej. Zb. rad. Zakonomernosti razmeščenija poljeznih iskopajemih, Tom V, AN SSSR. Moskva.

Smirnov V. I., 1963: — Porjadok endogenoj rudnoj zonalnosti. Zb. rad. Konferencija — Problemi postmagmatičeskovo rudoobrazovanija, Tom 1, An ČSSR. Prag.

Smirnov V. I., 1965: — Metalogenija tektoničeskih zon geosinklinaljej. Zb. rad. Problemi metalogenii, Nedra. Moskva.

Ščeglov A. D., 1963: — O javljenijah zonalnosti v endogenih orudnjenij Zapadnogo Zabajkalja. Zb. rad. Konferencija — Problemi postmagmatičeskovo rudoobrazovanija, Tom 1, AN ČSSR. Prag.

Резюме

СВЕТИСЛАВ ПЕЈАТОВИЋ*

ОБ ИНТРАСЕКТОРНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ОРУДНЕНИЙ

На примере Шумадийской металлогенической зоны выделяется интрасекторная зональность в качестве переходной между региональной и промежуточной в поиманию В. И. Смирнова (Смирнов, 1963, 1965).

Рассмотрены основные вопросы последовательной эволюции Шумадийской подвижной зоны в течении альпийского тектоно-магматического цикла развития и на этом фоне выделены рудные пояса региональной зональности:

— В рамках интрагеосинклинального тектонического сектора в течении раннего этапа развития сформирован отдельный или интрагеосинклинальный рудный пояс магнетитового, азбестного и марганцевого оруднения, и

— В рамках интрагеоантиклинального сектора в течении позднего этапа развития сформирован также отдельный или интрагеоантиклинальный рудный пояс скарно-полиметаллического, свинцово-цинкового, сурьмяного, ртутного и уранового оруднения.

Выделеные упомянутих поясов полностю согласуется с признакам рудных поясов в региональной зональности разработанных В. И. Смирновым.

Поясовое распределеные, как это происходит из приложеной схеми (рис 1), существует и между оруднениям парагенетически связаным с гранитоидным малым интрузиям как скарно-полиметаллическое и, возможно, сурьмяное и ртутное и андезит-дацитовым вулканизмом первой фазы как свинцово-цинковое которые локализированы во восточной части интрагеоантиклинального сектора близу центрального глубиного разлома с одной стороны и урановых орудненый связаных опщностю происхождения с вулканизмом второй фазы расположеных в середине сектора с другой стороны.

* Институт ядерного сырья, Белград, Югославия.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

MILORAD ARSENIJEVIĆ

UDK = 550.42:553.44 (497.1)

OPŠTI PREGLED RASPOREDA SADRŽAJA RETKIH I DRUGIH MIKROELEMENATA U GLAVNIM SULFIDNIM MINERALIMA NEKIH OLOVNO-CINKOVIH LEŽIŠTA JUGOSLAVIJE

(sa 7 tabela)

U ovome članku se iznose rezultati dugogodišnjih istraživanja retkih i drugih mikroelemenata u sulfidnim mineralima olovno-cinkovih parageneza u našoj zemlji. Pokazalo se da se u nekim ležištima, izuzev srebra, bizmuta i kadmijuma, javljaju povišeni sadržaji indijuma, galijuma i drugih elemenata značajnih u genetskom ili ekonomskom smislu. Genetski uslovi stvaranja mineralnih parageneza utiču na njihov raspored, ali se njima pridružuju i drugi faktori koji upravljaju koncentrisanjem ili rasejavanjem u mineralima. Dalja ispitivanja će svakako pružiti još brojnije podatke u nekim slučajevima u cilju svestranijeg sagledavanja i analize raspodele retkih elemenata u mineralima i ležištima.

Retki elementi sve više pobuđuju pažnju istraživača iz raznih grana nauke i industrije. Njihova pogodna primena u savremenoj tehnologiji metala i indikatorska uloga pri utvrđivanju uslova obrazovanja mineralnih parageneza i metalogenetske orijentacije magmatizma sasvim opravdano im daju značajno mesto u geološkim istraživanjima. U takve elemente spadaju In, Ga, Re, Ge, Tl, Cd, Bi, Pd, Te i Se, od kojih jedni, kao korisni sastojci, prate ležište olova i cinka, a drugi i ležišta bakra, molibdena, arsena ili neke sedimentne rude. Obično se, nekada jače a nekada slabije, koncentrišu u glavnim sulfidnim i drugim mineralima.

Ova grupa elemenata se nesigurno i raznoliko definiše u savremenoj terminologiji. Neki autori je nazivaju grupom rasejanih elemenata, neki opet retkim elementima, tragovima, malim elementima, oligoelementima, itd., ali nijedan od tih naziva nije odgovarajući i dovoljno jasan. To dolazi otuda što se oni i rasejavaju i koncentrišu različito u raznim uslovima i sredinama — silikatima, oksidima a posebno u sulfidima — zbog kristalohemijskih, paragenetskih i petrohemijskih činilaca koji upravljaju njihovom migracijom u magmatskom, hidrotermalnom i alteracionom stadijumu stvaranja minerala. U određenim kristalohemijskim i geološkim uslovima, pri povoljnom obogaćenju rastvora, neki od njih mogu da se koncentrišu u svojim mineralima nosiocima. Zato, takvi elementi u pogledu geohemijskog rasprostranjenja spadaju i u kategoriju rasejanih

elemenata čime se unosi i dovoljno nejasnoća u odnosu na druge koji takođe mogu da budu u stanju rasejanosti, da se odlikuju visokim klarkom u zemljinoj kori i da istovremeno nisu retki u pogledu nalaženja njihovih korisnih koncentracija. Ovi elementi su obično izomorfno vezani u drugim mineralima ili se veoma retko nalaze u vidu sopstvenih minerala zahvaćenih u mineralima-nosiocima, pa su zaista i retki u odnosu na mogućnost stvaranja posebnih ležišta. Usled toga je neophodno da se nazivu za pomenutu grupu dâ ekonomsko-geološki i geohemijski smisao definišući karakter njihovog pojavljivanja kao korisnih elemenata i njihovo stvarno rasprostranjenje u prirodi. Prema tome, r e t k i e l e m e n t i čine grupu elemenata koji su pri kristalizaciji zahvaćeni mineralima glavnih elemenata, bilo u izomorfnom ili kom drugom stanju, a koji se ne javljaju u vidu samostalnih mineralnih ležišta. Sve druge elemente treba nazvati mikroelementima, jer oni ne ulaze u formulu minerala-nosioca kada su ispod sadržaja od 1%, bez obzira u kakvom su vidu primešani, dok u stenama odražavaju nisku zastupljenost.

Od retkih elemenata koji prate olovno-cinkova ležišta uopšte karakteristični su In, Ge, Ga, Cd, Bi, Tl, Se, Te i dr. U početku geohemijskih istraživanja kod nas prvo je bio zahvaćen germanijum ne računajući Ag, Bi i Cd koji su u proizvodnom smislu bili poznati u istoriji i našeg novijeg rudarstva. Ć. J e l a č i ć je utvrdio i izdvojio germanijum iz materijala cinkarne u Celju, a zatim nešto kasnije (1954. god.) ovaj elemenat je, kao i Pd, utvrđen u anodnom mulju i mineralima bakra u Boru (lit. 1, 2). Tek 1960—1961. godine šire su proučavani In i Ga u sfaleritima iz nekih jugoslovenskih ležišta (lit. 3). Tom prilikom je istaknuto obogaćenje inidijumom sfalerita iz Trepče, B. Brda, N. Brda, odnosno u kopaoničkoj oblasti, kao i pretežno siromaštvo u pogledu galijuma. Ispitivanja su nastavljena (lit. 4, 5, 7, 8, 9, 19) i 1965. godine se javljaju brojniji podaci o ovim a takođe i o ležištima Ajvaliji, N. Brdu, Kižnici, itd., (lit. 7), kao i o ležištu Srebrenici (lit. 30).

Sadašnja ispitivanja, kao nastavak ranije započetih, usmerena su na naša poznata ležišta u koja spadaju Trepča, Dobrevo, Belo Brdo, Novo Brdo, Ajvalija, delom Kižnica, Blagodat, Lece, Veliki Majdan, Šuplja Stijena, zatim Izvor Babune i neka druga koja su u početnoj fazi (Rudnik, Karamanica, Sase itd.). Najveća pažnja je posvećena rasporedu retkih i drugih elemenata u glavnim sulfidnim mineralima olovno-cinkovnih parageneza — u sfaleritu, galenitu, piritu, pirhotinu, halkopiritu, arsenopiritu, ilvaitu i nekim drugim silikatima.

Prva faza proučavanja za neka ležišta će zahtevati detaljniju obradu kako bi se o njima stvorila neophodna slika o prisustvu i udruživanju pratećih elemenata, a sama tehnologija uputila na savremenija maksimalna iskorišćenja sastojaka ruda. To znači da se proučavanje rasporeda retkih elemenata i obrada faktičnog materijala neminovno graniči i prerasta u ekonomsku procenu dajući pregled njihove zastupljenosti u ležištima velikih proizvodnih mogućnosti.

Sva ova ispitivanja su vršena spektrohemijskom analizom sa greškom $\pm$ 30%, a sadržaj Fe, mestimično Se i Te, određivan je hemijski (Z. Č e r v e n j a k, hemičar). Zlato i živa nisu obuhvaćeni ovim ispitivanjem.

NEKE OPŠTE ODLIKE DINARSKE GEOHEMIJSKE PROVINCIJE

Dosadašnja geotektonska podela teritorije na kojoj se javljaju pomenuta ležišta ističe prisustvo »Srpsko-makedonske mase« i »Dinarske provincije« kao kompleksa čije terene karakterišu izvesne magmatske i tektonske osobenosti. Međutim, što je sasvim očigledno, po geohemijsko-metalogenetskim karakteristikama sigurno je u pitanju jedinstvena geohemijska Dinarska provincija sa sličnim metalogenetskim osobinama različitih geohemijskih polja (lit. 16) ili, kako ih neki autori nazivaju, rudnih oblasti (lit. 12). Ovo se jasno potvrđuje regionalnim rasporedom Be, Sn, Ba, Pb, Zn, Sb, As, Hg, itd. Geohemijska polja se u izvesnoj meri razlikuju, ali su i dovoljno slična da se cela ova teritorija, relativno mala za izrazite metalogenetske razlike i koja neosporno čini jedan geotektonski kompleks (lit. 23), može smatrati jedinstvenom provincijom u pogledu asocijacije elemenata i vrste ležišta.

Razlike u samoj provinciji prouzrokovane su nekada i zonarnim rasporedom elemenata ili njihovih ležišta u odnosu na glavne magmatske centre ili odgovarajuće ose magmatske aktivnosti. Očigledan je primer prostornog rasporeda žive čije se mineralizacije sreću u olovno-cinkovim ležištima ili van njih (z. Srbija, itd.) da bi u mineralizacijama bosanskog rudogorja (lit. 14) i posebno na području Istre dostigle neosporno najjače obogaćenje (Idrija). Antimon i arsen jednostavno dominiraju kroz celu provinciju vezujući se, kao i živa, za najmlađe tercijarne magmatske akcije bilo u olovno-cinkovim paragenezama ili, još kasnije, u onim slučajevima kada su arsensko-antimonske mineralizacije od njih odvojene (6, 12, 14, 25).

Ovakvi i slični primeri naglašavaju da razlike koje se javljaju u Dinarskoj geohemijskoj provinciji ili koje se mogu očekivati u hemijskom sastavu minerala olovno-cinkovih ležišta svakako nisu uslovljene izrazito različitim hemizmom prisutnog magmatizma već na ovo presudno utiču i drugi faktori. Među njima kao značajni javljaju se sukcesivni geotektonski procesi i njima odgovarajuće magmatske akcije u istoriji geološkog razvoja ovih terena. Hemizam magme, odnosno magmatskih stena mogao se menjati ne samo zbog nivoa polazne magme, dubine dislokacija i raseda, već i usled diferencijacije počev od starijih geoloških perioda prema najmlađim u toku kojih je vulkanizam bio veoma aktivan, kao i zbog uticaja podloge i pokrivača. U skladu sa tim, pojedine magmatske faze su nosile i svojstvena geohemijsko-metalogenetska obeležja koja su naročito došla do izražaja pod uslovima visokog obogaćenja magmatskog zaostatka korisnim metalima i povoljnih geoloških struktura-barijera. Zato se i sreću takve geohemijske dominantne asocijacije i razlike usled preovlađivanja pojedinih metala: kalajno-berilijumova-niobijumova (lit. 6), olovno-cinkove, antimonske, arsensko-antimonske, živine, itd. Ova opšta tvrđenja nalaze sjajnu potvrdu u vezi mineralizacija sa određenim formacijama u prostoru, u ovoj geohemijskoj provinciji, među kojima su jasne starosne razlike: graniti Željina sa berilom u pegmatitima i granodioriti Kopaonika sa molibdensko-volframskom mineralizacijom u zadnjem stadijumu razvića; graniti Cera sa berilijumonosnim pegmatitima i kalajem i granodioriti Boranje sa molibdenskim i drugim mineralizacijama; kersantiti i vulkaniti Avale sa Pb-Zn i živom i graniti Bukulje sa berilijum-

-kalajnonosnim pegmatitima i kvarcnim žicama; vulkaniti sa Pb-Zn mineralizacijama i vulkaniti sa As-Sb mineralizacijama, itd. Kao što se vidi starosne razlike između magmatskih ili između vulkanskih akcija odražavaju se i na intenzitetu odlaganja i vrsti elemenata koji se manje ili više provlače kroz sve etape razvoja magmatizma.

Ovi faktori, svaki za sebe i svi zajedno, mogu da prouzrokuju značajne razlike u hemijskom sastavu samih minerala samim tim i između ležišta. Očigledno, to se zapaža kod sfalerita u pogledu boje ili mikrosastava, a takođe i u jačini mineralizacije sulfoantimonidima i antimonitom ili rudnih mineralizacija antimona ili, čak, antimonsko-arsenskih u olovno-cinkovoj provinciji.

Sva pomenuta ležišta su smeštena u okvire dejstva tektonskih akcija Vardarske zone u najširem smislu. Ova počinje od krajnjeg juga Makedonije, ide preko Trepče gde se jedan krak odvaja prema Kopaoniku i Avali, a drugi se orijentiše prema Zvorniku (lit. 33). Paralelne linije glavnoj zoni dislokacija dale su sa jedne strane, počev od Belasice neke mineralizacije Zletova, Blagodati i Leca, a sa druge strane Brskovo, Šuplju Stijenu i dr. pojave olovno-cinkove mineralizacije. Osim toga, na prostoru ove zone i, još šire, ove provincije, sreće se raznovrsni magmatizam koji je doneo stene počev od bazičnih preko granitoida do vulkanita za čiju je aktivnost, u širokom vremenskom intervalu, vezan postanak posmatranih ležišta.

U strukturno-genetskom pogledu utvrđene su među njima značajne razlike. Od strukturnih tipova javljaju se žični i sočivasti (Dobrevo, Lece, Šuplja Stijena, Izvor Babune, itd.) i kombinovani stubasto-žični-sočivasti (V. Majdan, Rudnik, Trepča, Blagodat). Temperatura stvaranja minerala kod jednih počinje sa skarnovskim i katatermalnim paragenezama, dok kod drugih su izražene mezo i epitermalne tvorevine kao najviši temperaturni nivo nastanka olovno-cinkovih i drugih minerala (lit. 17, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 27 i 31).

Na osnovu ovih opštih razmatranja jasno se ističu kako zajedničke karakteristike kroz celu geohemijsku provinciju tako i određene razlike u zavisnosti od glavnih pomenutih faktora kojima podležu proučavana rudna obrazovanja. Međutim, da bi se prikupilo još više podataka za što svestranije sagledavanje ovoga problema, koji se tiče olovno-cinkovih ležišta, upravo je i značajan, u prvoj fazi, opšti pogled na udruživanje i zastupljenost pojedinih elemenata u glavnim mineralima. U tome cilju je za neka ležišta postignuta dovoljna statistička gustina osmatranja, dok su u drugim ležištima i njihovim mineralima (Karamanica, Kižnica i Ajvalija) utvrđene samo indikacije u pogledu geohemijskih karakteristika parageneza elemenata (tabele 1—7).

PREGLED SADRŽAJA RETKIH I DRUGIH MIKROELEMENATA U SULFIDNIM MINERALIMA

Ne ulazeći dublje u geohemijske odnose pojedinih elemenata ili njihove specifične uslove raspodele u mineralima raznih ležišta kroz ova razmatranja biće prikazane parageneze elemenata i njihovi srednji sadržaji ($\overline{X}$) u svakoj mineralnoj vrsti.

Sfalerit

Ovaj mineral je jedan od glavnih sastojaka u našim ležištima Pb i Zn. Obično je predstavljen marmatitom u onim ležištima gde su sulfidi Fe obilno zastupljeni u mineralnim paragenezama, kao u Trepči, V. Majdanu, Novom Brdu, Ajvaliji, delom B. Brdu, itd., a u kome se sadržaj Fe kreće od 8 do 17%. U drugim slučajevima su više ili jedino zastupljeni sfaleriti sa sadržajem Fe ispod 8—0,02%, koji uglavnom karakteriše ležišta Lece, Dobrevo, Blagodat, Izvor Babune, Šuplju Stijenu, itd. Sadržaj Fe u seriji marmatit-sfalerit direktno se odražava na njihovoj boji. Stoga se u grupaciji sfalerita javljaju bezbojni, mrki, mrkocrveni, narandžasti, žuti i mrkocrni prelazeći u marmatite. Od retkih elemenata-pratilaca javljaju se Cd, In i Ga, a zatim Sn, Cu, Ag, Ni, Co, Sb, ređe Mo i drugi manje značajni za definisanje geohemijskih uslova stvaranja parageneza.

Indijum. — Sadržaj indijuma u raznim varijetetima se kreće od tragova do 1000 gr/t ističući istovremeno razlike između varijeteta a samim tim i između ležišta (tabela 1). Sreću se sledeći slučajevi:

a) Sfaleriti su obogaćeni indijumom (iznad 100 gr/t).
b) Sfaleriti su siromašni indijumom (ispod 100 gr/t).
c) Sfaleriti su izrazito siromašni indijumom (ispod 10 gr/t).

Prvu grupaciju čine ležišta u koju ulaze Terpča, Novo Brdo, Dobrevo, Belo Brdo i Veliki Majdan; drugu sačinjavaju Šuplja Stijena i Blagodat, a treću Ajvalija, Lece, Izvor Babune i dr.

Galijum. — Po jačini sadržaja isključivo karakteriše sfalerite svetlije boje iz Novog Brda i Dobreva. U oba slučaja viši sadržaji Ga se vezuju za srednju temperaturu stvaranja dostižući do 400 gr/t u sfaleritima iz nekih ležišta (Dobrevo, N. Brdo). Osiromašenje visokotemperaturnih sfalerita galijumom ističe se kao opšta pojava. Slična karakteristika obuhvata sfalerite nekih nižetemperaturnih ležišta kao i sfalerit iz ležišta gde se pored katatermalnih sreću i mezotermalne parageneze. To znači da se obogaćenje galijumom ne sreće obavezno u svim ležištima sfalerita koja su mezotermalna ili u kojima učestvuju mezotermalne parageneze, već su te pojave lokalnog karaktera.

Kadmijum. — Sreće se kao stalan pratilac sfalerita i to u sadržajima najviše do 1%, a čije srednje vrednosti ne prelaze 7000 gr/t. Najviše srednje vrednosti Cd pokazuju marmatiti iz Velikog Majdana, Belog Brda i sfaleriti iz ležišta Izvor Babune, dok se sva ostala ležišta po sadržaju Cd svrstavaju u granicama od 1700—4000 gr/t.

Kalaj se po visini sadržaja ističe u sfaleritima Šuplje Stijene, N. Brda i Ajvalije (do 750 gr/t) a a n t i m o n karakteriše one sfalerite koji su praćeni sulfoantimonidima i galenitom u pojačanim količinama, pa je korelacija između Sb i Ag veoma značajna (do r=0,80). Sadržaj o l o v a je u uskoj vezi sa paragenetskim odnosima galenit—sfalerit, što se vidno ogleda u jasnoj korelaciji Pb : Ag iz sfalerita. N i k l i k o b a l t su mestimično jače zastupljeni, a m o l i b d e n u povišenim sadržajima je isključivo vezan za sfalerite ležišta Dobrevo, kao rezultat kasnijeg zahvatanja sfalerita mlađim molibdensko-uranonosnim rastvorima. T a l i j u m retko dostiže do 25 gr/t (Lece).

Srednji sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u sfaleritu — marma

Meta-logen. geohem. polje	Kopaoničko			Janjevsko		Lecansko	
Ležišta	Trepča N=61 crn	Belo Brdo N=16 crn, mrk, žut	Novo Brdo N=20 crn	Ajvajlija N=18 crn	Kižnica N=4 crn	Lece N=27 mrk	N=15 žut
Fe	12,8	12,5%	13,1%	11,7%	13,2%	1,4%	0,51%
Mn	3857	5200	7900	5798	4115	587	587
Cd	2432	5687	2672	2373	1738	2411	2540
Cu	645	1925	1106	372	418	1297	45
Sn	28	15	136	42	17	—	—
Pb	2556	7331	2202	1104	820	1,7%	9500
Ag	24	40	21	11	5	30	9
Ni	(0,8)*	(0,6)	—	—	28	1,2	1
Co	1,5	37	(0,7)	1,4	3,1	12	7
As	(993)	(196)	(572)	—	(790)	(192)	—
Sb	(30)	—	—	—	—	292	—
In	123	159	224	(1)	207	(1)	(1)
	1—1000	1—600	24—1000		20—740	0—1	0—1
Ga	5,1	7,4	48,0	1,5	2,0	3,0	3,1
	2,5—27	1,5—80	5—150	1—2	1,5—2	0—15	1—20
Tl	—	—	(0,6)	—	—	(3,0)	(0,2)
Cr	—	—	—	—	7	—	1
Ba	—	—	26	—	—	15	13
Sr	—	—	—	—	—	—	—
Y	—	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—
V	—	—	—	—	—	—	4
Be	—	—	—	—	—	—	—

* Vrednosti u zagradama označavaju srednji sadržaj elementa ispod granice osetljiv

Tabela 1

titu iz Pb-Zn ležišta raznih metalogenetskih geohemijskih polja (gr/t)

Zletovsko—Vlasinsko			Severno crnogorsko	Podrinjsko	Pelagonijsko	
Blagodat N=75 mrk, mrkocrn	Karamanica N=1 mrk	N=1 žut	Dobrevo N=94 mrkocrn do bez-bojan	Šuplja Stijena N=30 crn i mrkocrn, mrk	Veliki Majdan N=44 crn	Babuna N=13 mrk, žut
2,64%	1,7%	0,25%	0,53%	n.o.	13,7%	0,67%
1903	1000	170	618	3197	8593	90
3721	5000	1%	2809	3569	6232	4969
4826	1700	600	869	6825	1354	3486
—	—	—	(1,4)	70	10	—
5647	1%	1000	3525	1517	4954	3426
27	60	4	45	41	144	545
5,9	3	—	(0,5)	2	3,2	1
34	18	8	1	(0,9)	(0,7)	17
—	—	—	(59)	(17)	(774)	—
—	—	—	136	—	561	(14)
33	—	—	127	30	117	(0,07)
0—350			1,5—950	0—200	1,5—800	
4,8	20,0	3,0	27,0	3,0	7,0	2,0
1,5—15			1,5—400	1,5—14	1,5—37	
—	—	—	(1,2)	—	0,8	—
3,5	1	—	(0,3)	2	3,6	3
27	—	—	29	33	41	3679
—	—	—	—	—	—	26
—	—	—	14	—	—	—
—	—	—	1,9	—	—	—
—	—	—	(5)	173	(6)	—
—	—	—	(0,5)	—	—	—
—	—	—	—	—	—	(0,3)
—	—	—	—	—	—	(1,3)

osti metode određivanja zbog čestog odsustva u uzorcima

Germanijum. — Odsustvo germanijuma u sfaleritima većine ležišta predstavlja njihovu posebnu odliku i ukazuje na opšte siromaštvo ranijih faza, pa čak i ležišta Dobrevo u kome ovaj elemenat retko dostiže do 50 gr/t. Značajnije obogaćenje (oko 150 gr/t) se javlja u sfaleritu žute boje iz ležišta Mežice (lit. 3).

Drugi elementi predstavljaju mehaničke nečistoće proizašle usled udruživanja minerala u ležištima.

Galenit

Ovaj se mineral u našim olovno-cinkanim ležištima takođe odlikuje višefaznim stvaranjem koje se odražava na sadržaju nekih mikroelemenata. Uglavnom, galeniti pokazuju sličan kvalitativni sadržaj elemenata među kojima se ističu Ag, Bi i Sb, a javljaju se Sn, Tl, Se i Te, Cu, itd.

Srebro. — Stalan je i opšte poznat sastojak galenita. U ispitivanim ležištima dostiže sadržaj od 20 do 2000 gr/t. Međutim, srednje vrednosti znatno variraju kao i gornje granice sadržaja u zavisnosti od ležišta. Neka žična ležišta (Dobrevo) pokazuju zavisnost porasta srebra u galenitu sa dubinom rudne žice i porastom temperature stvaranja. Pozitivna korelacija sa bizmutom je takođe prateća pojava, a sadržaj antimona raste prema srednjoj temperaturi stvaranja galenita da bi u završnom stadijumu pokazao znatno osiromašenje.

U drugim ležištima se ne zapažaju slične pravilnosti kod srebra koje se mestimično karakteriše povišenim sadržajima (N. Brdo, V. Majdan i Rudnik). Naročito tamo gde se primećuje obogaćenje galenita ili halkopirita srebrom, gotovo u svim slučajevima, zapažaju se pojave minerala ovog elementa (prustit, miargirit, pirargirit, ili sulfoantimonidi Cu, Pb i Fe).

Bizmut. — Ovaj elemenat se koncentriše u galenitu i do preko 1%. Njegovi visoki sadržaji su vezani za prvu generaciju i znatno opadaju prema kasnijim fazama izlučivanja, tako da su mezotermalna i posebno epitermalna faza galenita siromašne ili sterilne u pogledu Bi. Povišeni i visoki sadržaji Bi su praćeni nekada i mineralima kao što su bizmutinit, metalni Bi, itd. (Dobrevo, N. Brdo, Trepča, itd.).

Visokotemperaturnu fazu galenita iz pegmatita (Pelagonija) karakteriše visok sadržaj bizmuta (0,30% do preko 1%). Ova je uvek u vezi sa procesom amazonitizacije feldspata u pneumatolitskom ili katatermalnom stadijumu razvića pegmatita, gde se sreću i još neidentifikovani minerali bizmuta i Pb (Crni Kamen, Makedonija). U takvim genetskim prilikama obogaćenje galenita bizmutom nije praćeno antimonom ili je ovaj ispod 100 gr/t. To ukazuje na izvesnu sličnost visokotemperaturnih galenita koji intenzivno zahvataju bizmut iz rastvora bez obzira na specifične uslove sredine kristalizacije.

Antimon. — Nasuprot bizmutu ovaj elemenat dostiže najviše sadržaje u galenitu (do 7000 gr/t) mezotermalne, rede epitermalne faze pri čemu se posebno ističe ležište V. Majdan. Pojava sulfoantimonida — bulanžerita, džemsonita, burnonita i tetraedrita u galenitu — najbolje objašnjava često visoke sadržaje antimona u hidrotermalnim rastvorima koji tada obično dovode do stvaranja antimonita u poslednjem stadijumu stvaranja

Tabela 2

Srednji sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u galenitu iz Pb-Zn ležišta raznih metalogenetskih geohemijskih polja (gr/t)

Metalogenet. geohem. polje	Kopaoničko		Janjevsko		Lecansko	Zletovsko-Vlasinsko			Severno crnogorsko	Podrinjsko
	Trepča N = 37	Belo Brdo N = 8	Novo Brdo N = 19	Ajvalija N = 3	Lece N = 17	Blagodat N = 55	Dobrevo N = 109	Karamanica N = 1	Šuplja Stijena N = 7	Veliki Majdan N = 37
Mn	38	978	161	883	85	21	33	7	76	29
Fe	707	6947	1512	2000	1216	1655	363	100	7247	2846
Cu	87	380	95	1	722	79	196	6	463	184
Ag	275—950	200—570	550—2000	250—550	270—1050	130—300	20—1500	190	400—570	400—1200
Zn	698	7437	386	2200	6340	496	1175	300	842	266
Ba	(8)*	14	14	—	(9)	11	(3)	—	21	31
Sn	39	15	85	19	—	—	(0,09)	—	92	75
Sb	304	260	660	233	653	—	190	—	635	1794
Bi	435	207	1915	—	—	—	169	—	4717	412
Mo	—	—	—	—	—	—	(0,02)	—	—	—
Ni	—	7	(0,1)	—	(0,09)	—	(0,01)	—	—	—
Cr	1,4	19	1,9	1	(0,6)	2,4	3,6	3,5	(0,2)	4
Sr	—	—	—	—	—	—	(0,9)	—	—	—
In	—	11	(0,9)	—	—	—	1,2	—	—	—
Ga	—	1,3	1,5	—	—	—	(0,4)	—	—	—
Tl	7,2	5,0	12	10	—	—	(0,02)	—	—	5,1
Cd	—	(207)	—	(33)	—	—	—	—	—	(200)
As	(137)	—	(36)	—	(36)	—	—	—	—	—
V	—	—	—	—	(0,4)	—	—	—	—	—
Se							2,0	koncentrat	koncentrat	48
Te							8,0	koncentrat	koncentrat	65

* Vrednosti u zagradama označavaju srednji sadržaj elemenata ispod granice osetljivosti metode određivanja zbog čestog odsustva u uzorcima.

ležišta. Ustvari, suština ove pojave leži u jačoj ili slabijoj orijentaciji hidrotermalnih rastvora da gradi antimonit u uslovima povoljnih primarnih koncentracija Sb preostalih po stvaranju sulfoantimonida raznih metala. Ovakve tendencije se potvrđuju u kasnijim magmatskim akcijama koje su donele rudne koncentracije antimonita bilo u okviru ležišta a najčešće u široj oblasti (Boranja, južna Srbija), što samo svedoči o metalogenetskoj orijentaciji magmatizma u ovoj geohemijskoj provinciji. Iz toga proizilazi da su ležišta Pb—Zn samo jedan stadijum razvića magmatizma iza koga, u kasnijim akcijama, dolazi do stvaranja velikih antimonskih ležišta ili arsensko-antimonskih na istim ili drugim tektonskim pukotinama Dinarske provincije.

Kalaj je čest pratilac galenita i dostiže sadržaj do 300 gr/t. Najniža zastupljenost kalaja karakteriše lecansko i vlasotinačko-zletovsko geohemijsko rudno polje. T a l i j u m je čest sastojak ovoga minerala sa najvišim sadržajem od 100 gr/t. Za sada se najviše srednje vrednosti javljaju u galenitu iz N. Brda (do 100 gr/t) i V. Majdana. B a k a r je zastupljen u ovome mineralu zbog intimnog udruživanja sa halkopiritom i drugim mineralima Cu, kao što je slučaj sa svim drugim elementima — mehaničkim nečistoćama, izuzev Se i Te.

Tabela 3

Sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u galenitu pelagonijskog geohemijskog polja, gr/t

Ležišta	Izvor Babune		Drenovci	Crni Kamen	Čanište
	Pb-Zn mineralizacija N=1	Amazonitska žica N=1	Pegmatit N=1	Amazonitska žica* N=1	Pegmatit N=1
Mn	3	10	10	25	—
Sb	350	—	—	—	—
Bi	—	5000	3000	>1%	>1%
Cu	50	1	1	1600	50
Pb	>1%	>1%	>1%	>1%	>1%
Ag	130	300	300	4	1250
Ba	500	12	12	70	60
Ga	—	—	1	—	—
Tl	—	—	25	—	120
Zn	9000	—	—	—	—
Sn	—	—	—	40	—
Nb	—	—	—	800	—
V	—	—	—	4	—
Ti	—	—	—	>1%	—
Y	—	—	—	40	—
Zr	—	—	—	2500	—
Ni	—	—	—	11	—
Co	—	—	—	4	—
Sc	—	—	—	11	—
Cr	—	—	—	6	1
La	—	—	—	500	—
Fe	1500	—	—	>1%	—
Sr	—	—	—	750	—

* Mešavina neidentifikovanog Pb-Bi minerala i dr. sastojaka amazonitske žice.

Tabela 4

Srednji sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u piritu iz Pb-Zn ležišta raznih metalogenetskih geohemijskih polja (gr/t)

Metalogenet. geohem. polje	Kopaoničko		Janjevsko		Lecansko	Zletovsko-Vlasinsko		Severno crnogorsko	Podrinjsko
Ležišta	Trepča N = 41	Belo Brdo N = 9	Novo Brdo N = 19	Ajvalija N = 8	Lece N = 4	Blagodat N = 59	Dobrevo N = 17	Šuplja Stijena N = 25	Veliki Majdan N = 65
Cu	420	551	84	486	1,14%	459	1431	2204	439
Pb	2192	3650	389	3386	712	4691	1952	2257	6000
As	(734)*	(666)	(373)	512	6875	(86)	(388)	(32)	840
Sb	(27)	(17)	(13)	(40)	1887	(16)	(50)	—	(73)
Mn	359	178	155	2393	2250	245	908	3106	205
V	—	—	—	—	4	(0,6)	—	2	(0,06)
Ag	12	44	6	45	207	7	51	53	106
Zn	2108	1800	442	2200	7075	3600	2776	7972	2410
Ni	5	32	34	13	35	77	4	4	64
Co	6	12,9	1,5	8	38	68	6,5	(0,1)	11
Cr	(0,6)	7,7	2,7	1,2	—	3	—	2	7
Ba	12	14	(7)	(6)	46	16	31	88	41
Tl	5	—	12	323	78	12	36	(1,2)	4
	0—60		0—90	0—1000	24—170	0—500	0—500	0—22	0—170
Cd	(15)	377	—	—	—	(28)	(18)	—	(70)
Ga	(0,1)	—	—	(1)	(0,2)	—	1,6	1,5	(0,3)
In	(0,4)	(0,5)	(0,5)	—	—	—	5	2,4	(1,1)
Sr	—	—	—	—	10	—	69	(6)	(7)
Bi	(2)	66	—	—	—	—	(3)	28	(1,1)
Mo	—	—	—	—	—	—	2,9	—	—
Sn	—	—	—	392	—	—	(1,4)	16	(0,3)
Y	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,6)

* Vrednosti u zagradama označavaju srednji sadržaj elementa ispod granice osetljivosti metode određivanja zbog čestog odsustva u uzorcima.

Pirit

Pirit se javlja u svim olovno-cinkovim ležištima sa jačom ili slabijom zastupljenošću. Usled toga se neka mogu okarakterisati i kao piritska, dok se u drugim ležištima ovaj mineral nalazi u veoma podređenim količinama. Stvaran je u više generacija pa se stoga mogu očekivati i izrazite promene u njegovom mikrosastavu. Jasno su uočljive razlike između pirita pojedinih ležišta iz jedne iste geohemijske provincije. Nekada je intimno udružen sa markasitom, pa je kao takav i proučavan.

Talijum. — Sadržaj ovoga elementa u piritu katkad dostiže i 1000 gr/t. Posebno mesto zauzimaju mlađe faze, a naročito poslednja generacija pirita iz Ajvalije u kome sadržaj Tl dopire do 1000 gr/t sa $\overline{X}$=323 gr/t, zatim pirit iz Dobreva, Leca, N. Brda i V. Majdana. To su nižetemperaturni piriti, dok oni više ili visoke temperature stvaranja nisu talijumonosni bez obzira iz koga su ležišta.

Kalaj je karakterističan za pirite Ajvalije gde se nalazi u sadržajima do 3000 gr/t ili sa $\overline{X}$=392 gr/t. U piritima drugih ležišta je slabije zastupljen ili je najčešće odsutan.

Bakar karakteriše pirite iz onih parageneza u kojima halkopirit ima značajnije mesto u pogledu zastupljenosti. Takvi slučajevi povišenih sadržaja Cu sreću se u piritu iz Leca, Šuplje Stijene ili Dobreva, gde se u poslednjem slučaju nalaze žice ili jača nagomilanja halkopirita i drugih minerala sa piritom.

Molibden u ovome mineralu karakteriše ležište Dobrevo, što se odnosi i na neke druge sulfide iz istih rudnih žica.

Nikl je najizrazitije zastupljen u piritima ležišta Blagodat, zatim Leca, N. Brda i B. Brda. Najviši sadržaji u piritu iz ove vrste ležišta kod nas su nađeni u piritu iz V. Majdana gde u najmlađoj generaciji dostiže 3000 gr/t. Međutim, pirit iz ležišta Blagodat ističe najviša srednja vrednost nikla ($\overline{X}$=77 gr/t) sa gornjom granicom sadržaja od 400 gr/t koja je u drugim ležištima niža.

Piriti iz drugih vrsta ležišta, kao oni iz arsensko-antimonskog u Lojanu, nose i drukčije genetske karakteristike pa stoga i izrazito visoke sadržaje nikla.

Kobalt se javlja sa najvišim sadržajima u piritu iz ležišta Blagodat (do 230 gr/t) za razliku od ostalih u kojima je pirit siromašniji ovim elementom.

Odnos Ni/Co i njegova raspodela specifični su za svako ležište posebno zaviseći od primarnih koncentracija Ni i Co u hidrotermalnim rastvorima i uslova njihovog zahvatanja piritom. Pa ipak, ispitivanjem distribucije ove veličine pokazala se jasna polifaznost pirita u posmatranim ležištima, a u svim piritima je prosečno Ni > Co, izuzev u piritu iz Leca gde se uočava viši koncentracioni nivo kobalta.

Ostale primese su uglavnom proizašle od kontaminacije drugim mineralima.

Halkopirit

Halkopirit je opšte rasprostranjen mineral u olovno-cinkovim parageneza ma naših ležišta. Javlja se u vidu više generacija počev od eksolucionog u sfaleritu do onih slučajeva kada je redovan ali i podređen član parageneze. Samo u ređim prilikama je individualisan u vidu žica i manjih nagomilanja (Dobrevo, Lece, Šuplja Stijena itd.).

Kao karakteristični elementi za ovaj mineral u posmatranim ležištima sreću se In i Sn, a nekada Co i Ni ili Sb i Ag.

Indijum. — U halkopiritu ispitivanih ležišta indijuma dostiže sadržaj od 700 gr/t. Ovako visoka vrednost sadržaja indijuma utvrđena je u ležištu Dobrevo koje se karakteriše sa $\overline{X}=161$ gr/t. Time se po indijumonosnosti halkopirit izjednačuje u potpunosti sa sfaleritom. To je u isto vreme i najviše obogaćen halkopirit među proučavanim ležištima, jer su svi ostali znatno siromašniji. Karakteristično je da se porast sadržaja indijuma u halkopiritu javlja u onim paragenezama u kojima su sfaleriti manje zastupljeni u odnosu na halkopirit. Ustvari, oba ova minerala pripadaju prvoj generaciji i obogaćeni su indijumom.

Kalaj. — Obično je odsutan, ali se u nekim halkopiritima, kao u Šupljoj Stijeni, javlja u sadržajima i do 2500 gr/t sa $\overline{X}=1109$ gr/t. Prisustvo stanina (lit. 13) prouzrokuje ovakav raspored Sn u mineralu a samim tim i u ležištu.

Nikl je ređe zastupljen i to u niskim sadržajima. Jedino se ističe porast njegovog sadržaja u halkopiritu iz ležišta Blagodat, u kome dostiže 500 gr/t i kobalta sa najvišim sadržajem od 400 gr/t. Ova pojava je u uskoj vezi sa raspodelom ovih elemenata i u drugim mineralima iz ovoga ležišta.

Srebro prati gotovo sve minerale iz Pb—Zn parageneza, ali u halkopiritu se nalaze njegovi najveći sadržaji izuzimajući glavnog nosioca — galenit. Tako se u halkopiritu iz Dobreva srebro sreće u sadržajima do 1000 gr/t, a u onome iz Leca i do 1500 gr/t. Takve pojave su uslovljene udruživanjem minerala srebra i halkopirita ili, čak, tetraedrita, što se sigurno odražava na visokim sadržajima antimona u ovome mineralu (tabela 5).

Drugi prisutni elementi nemaju posebnog značaja u isticanju geohemijskih karakteristika ovoga minerala, jer su obično poreklom od mehaničkih nečistoća. Ovde se svakako izuzima prisustvo Se i Te koji su utvrđeni u nekim koncentratima galenita sa halkopiritom.

Pirhotin i arsenopirit

Paragenezu mikroelemenata u pirhotinu odlikuje izuzetno nizak sadržaj Ni i Co. Ova pojava predstavlja izvesno odstupanje od nekih poznatih podataka za ovaj mineral uopšte. Ustvari, to je dokaz da je niklonosnost Pb—Zn parageneza veoma niska, naročito onih katatermalnih i mezotermalnih. Istovremeno, nameće se zaključak da su, verovatno, prisutni i sekundarni procesi iznošenja Ni iz podloge i unošenja u hidroterme iz kojih su kristalisali, posle pirhotina, piriti najmlađe generacije.

Tabela 5

Srednji sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u halkopiritu iz Pb-Zn ležišta raznih metalogenetskih geohemijskih polja (gr/t)

Metalogenet. geohem. polje	Kopaoničko		Lecansko	Zletovsko-Vlasinsko			Severno crnogorsko
Ležište	Trepča N = 1	Belo Brdo N = 1	Lece N = 13	Blagodat N = 7	Dobrevo N = 21	Karamanica N = 1	Šuplja Stijena N = 5
Pb	350	~1%	~1%	4628	4273	1700	410
Sn	500	45	—	—	(7)	—	1109
Mn	600	1200	194	205	182	30	5680
Ag	100	300	612	151	223	200	273
Zn	~1%	9000	8383	7557	5041	2000	6300
Ni	3	150	2	93	3,9	3	9
Co	3	8	(0,7)	68	—	—	—
Cr	—	5	15	4,4	(0,1)	2	4
Ba	—	12	20	16	23	10	84
Sr	—	—	(4)	—	(3)	—	(9)
Sb	200	200	4415	—	213	—	2800
As	—	(700)*	3076	—	1110	—	(400)
Y	—	—	—	—	—	—	(4)
Bi	—	—	—	—	(0,8)	—	(3)
In	20	—	(0,3)	1,5	161	—	4,6
Ga	5	—	2,1	(0,2)	(1,7)	—	(1)
Tl	—	5	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	(0,7)	1,2	—	—	—
Cd	—	(160)	—	(171)	(15	—	—
V	—	—	(0,1)	—	—	—	—

* Vrednosti u zagradama označavaju srednji sadržaj elementa ispod granice osetljivosti metode određivanja zbog čestog odsustva u uzorcima.

Ostale primese u pirhotinu (tabela 6) nesumnjivo su posledica mehaničkih nečistoća — kontaminacije glavnim članovima parageneze.

Arsenopirit ne sadrži značajnije indikatore stvaranja. Odlikuje se niskim sadržajima Ni i Co, čime se Fe—As formacija minerala pokazuje kao slabo niklonosna u proučavanim ležištima Pb—Zn.

OSNOVNE ODLIKE RASPOREDA RETKIH ELEMENATA

Ako se posmatra raspored retkih elemenata u proučavanim mineralima može se uočiti da postoje jasne razlike u sadržajima između različitih minerala i istih minerala u različitim ležištima. Uzroci takvih razlika nalaze se upravo u ranije pomenutim tektonskim, strukturnim i temperaturnim uslovima i vremenskoj sukcesiji stvaranja minerala i ležišta. Ovi faktori su uslovili različiti hemizam hidrotermalnih rastvora i njihovu

aktivnost u svakom ležištu posebno, a neposredno vezanu za petrohemijske karakteristike podloge u kojoj se vršilo orudnjenje. Međutim, za neke retke elemente ovo je od presudnog značaja samo u određenim slučajevima, dok izuzeci pokazuju da ima i odstupanja zbog oživljavanja aktivnosti i metasomatskih dejstava u toku kristalizacije minerala koncentratora ili nosilaca.

Tabela 6

Srednji sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u pirhotinu i arsenopiritu iz Pb-Zn ležišta (gr/t)

Mineral	Pirhotin			Arsenopirit		
Ležišta	Trepča N = 10	Belo Brdo N = 2	Veliki Majdan N = 6	Trepča N = 2	Belo Brdo N = 1	Veliki Majdan N = 2
Mn	388	215	186	197	200	35
Cu	917	284	575	67	35	107
Pb	2456	3100	5950	530	750	6250
As	3307	—	(466)	>1%	>1%	>1%
Sb	—	—	—	700	—	300
Bi	21	—	—	—	—	—
Ag	29	15	97	4,5	8	67
Zn	1380	4050	708	1250	300	1250
Ni	7,1	11	4,6	3,5	25	10
Co	1,3	(0,5)*	—	—	22	4
Cr	—	2,5	2	—	—	—
Ba	17	18	74	18	12	106
Sr	—	—	15	—	—	—
In	—	2,5	—	—	—	—
Ga	—	(0,7)	—	—	—	—

* Vrednosti u zagradama označavaju srednji sadržaj elementa ispod granice osetljivosti metode određivanja zbog čestog odsustva u uzorcima.

Raspored indijuma na sadašnjem stepenu ispitivanja je pokazao da je njegovo pojačano koncentrisanje uslovljeno prisustvom visokotemperaturne faze sfalerita i halkopirita. Uglavnom, katatermalni marmatiti su nosioci glavnih količina ovoga elementa, dok su srednje i niskotemperaturni sfaleriti i marmatiti siromašniji ili ih prate samo njegovi tragovi (Blagodat, Ajvalija ,Lece, I. Babuna, itd.). Izuzetak čine sfaleriti mrkocrvene boje iz ležišta Dobrevo, koji pripadaju trećoj naknadnoj fazi, čije obogaćenje indijumom ne odstupa od obogaćenja marmatita iz katatermalne faze istog ležišta. Istovremeno, ovaj varijetet je i najjači nosilac galijuma, što ga potpuno izdvaja iz grupacije sfalerita ovoga ležišta.

Osim toga, odstupanja mogu da se jave i onda kada se obrazovanje marmatita događalo u skarn-zoni u pneumatolitskim uslovima. Tako se u dubljim delovima ležišta Trepče, pored poklapanja i pojave nižetemperaturnih faza, zapaža usporavanje porasta sadržaja indijuma u marmatitu (Centrlno rudno telo). U ovome slučaju rudno telo se u dubljim nivoima

nalazi u skarnovskim paragenezama. Ove parageneze se karakterišu velikim brojem minerala među kojima se javljaju kalcit, kvarc, feldspat, amfibol, diopsid, augit, epidot, hipersten, magnetit, korund, monacit, barit, sfen, apatit, šelit, biotit, hlorit, granat, sfalerit, galenit, pirhotin, metalni bizmut, cirkon, markasit, tetraedrit, halkopirit, pirit i ilvait. Među ovim mineralima prisutni su i oni koji služe kao nosioci indijuma i galijuma u visokotemperaturnim uslovima obrazovanja, što omogućava intenzivno rasejavanje (tabela 7). Pokazalo se da ilvait, monoklinični piroksen i amfibol, a verovatno i drugi manje zastupljeni pirokseni i ostali silikati, oksidi i sulfidi, prihvataju u svoju rešetku In ili Ga u nešto povišenim količinama.

Posmatrajući raspored indijuma u skarnu i nekim njegovim pojedinačnim frakcijama (tabela 7) vidi se da ga neki minerali koncentrišu do 70 gr/t, dok cink jedva dostiže 800 gr/t ili je odsutan. To ukazuje da je indijum vezan za ispitivane minerale i to u većim količinama nego za neke mezotermalne i epitermalne sfelerite i marmatite. Time se dokazuje da se odlaganje indijuma, a takođe i galijuma, vrši još u kontaktno-metamorfnom pneumatolitskom stadijumu kristalizacije i razvića olovno-cinkovog ležišta. Takvi procesi mogu u izvesnoj meri da osiromaše visokotemperaturne marmatite u početnom stadijumu njihove kristalizacije, u uslovima skarn-zone, a izomorfna zamena In i Fe se može uzeti kao uslov nalaženja indijuma u ilvaitu, piroksenu ili amfibolu.

Koncentrisanje galijuma u skarnu istog ležišta je takođe usko vezano za stvaranje brojnih silikata i oksida (magnetit) koji ga zahvataju preko Al. Međutim, to se ne može smatrati glavnim uzrokom opšteg deficita galijuma u ovome kao i u drugim ležištima. Jer, pojava absorbovanja galijuma u nekim ležištima zapaža se i u destruktivnom stadijumu, pa je galijum vezan za kaolinit, ilit, itd. i gde sadržaj galijuma u njima dostiže oko 200 gr/t. Zato, pojava sfalerita obogaćenih (Dobrevo, N. Brdo) galijumom zavisi kako od primarnih koncentracija tako i od preraspodele u fazi destrukcije okolnih stena. To znači da su u pitanju pretežno lokalna primarna obogaćenja rastvora usko vezana za hemizam, starost i faze magmatizma u određenim oblastima i uticaj procesa metamorfizma okolnih stena. Pomenuti uslovi rasejavanja u skarnu pogoduju još većem deficitu Ga, a alteracioni procesi pre rudnog obrazovanja, u toku ili u završnom stadijumu se različito odražavaju na koncentrisanje Ga u sfaleritima. Svakako da završni stadijum nema uticaja na raspodelu galijuma u već iskristalisalim sfaleritima, dok je moguća preraspodela između sfalerita i sekundarnih produkata okolnih stena u toku istovremenog stvaranja u rudnom procesu.

Talijum se koncentriše u najvećim količina u piritu, slabije u galenitu, a u sfaleritima i marmatitima je vrlo redak. Njegovo prisustvo u piritima najmlađih generacija karakteriše se kasnijim ulaženjem u kristalizacione procese i opštim porastom količine ovoga elementa u najmlađim magmatskim akcijama koje su, kao što je slučaj, donela arsensko-antimonska ležišta sa talijumom (Alšar, Lojane, itd.). Ustvari, najviši sadržaji talijuma se i sreću u sitnozrnim primarnim piritima nastalim na niskim temperaturama, često sa markasitom, As i dr.

U galenitima se talijum različito ponaša: u jednima je odsutan (Dobrevo, Blagodat, Lece, Izvor Babune), dok je u drugima zastupljen u sa-

držajima do 100 gr/t (N. Brdo). Prisutan je u prvoj kao i kasnijim generacijama različitih ležišta. Nekada je u istoj paragenezi pirit obogaćen talijumom a galenit potpuno sterilan. Važno je istaći da je takav pirit mlađi od galenita i izrazito kriptokristalaste teksture (Dobrevo) za razliku od krupnokristalnog galenita. Kasniji postanak pirita i tendencije koncentrisanja talijuma u završnim akcijama, u mineralima niskog kristaliniteta, sasvim jasno objašnjavaju utvrđeni raspored talijuma u proučavanim mineralima.

Prisustvo kalijskih alumosilikata u ležištima i rudnim žicama sa sulfidnim mineralima uopšte u jednom slučaju utiču na porast količine Tl u galenitima, dok u drugim slučajevima vodi osiromašenju usled rasejavanja u sericitu i drugim kalijskim mineralima nastalim u procesu alteracije primarnih minerala. Prva mogućnost javlja se ako je galenit nastao kasnije obogaćujući se talijumom i na račun razaranja alumosilikata.

S obzirom na ovakve uslove migracije indijuma, galijuma i talijuma u postmagmatskom i alteracionom ciklusu ističu se sledeće pojave:

a) Indijum se koncentriše u marmatitu, sfaleritu i halkopiritu, a galijum u mezotermalnim marmatitima i sfaleritima.

b) Koncentrisanje talijuma je izvršeno prvenstveno u niskotemperaturnim piritima, zatim galenitima i veoma retko u sfaleritima.

c) Indijum se rasejava u ilvaitu, piroksenu, amfibolu u drugim nekim mineralima pogodnim za prihvatanje ovoga elementa u kontaktno metasomatskoj fazi obrazovanja skarna (marmatit, halkopirit, itd.) i koji su često niske zastupljenosti.

d) Galijum se rasejava u alumosilikatima skarna ili magnetitu, a zatim i u alteracionim produktima kao što su kaolinit, ilit, itd. gde se izomorfno zamenjuje sa Al.

e) Talijum se u silikatnoj fazi primarno rasejava u kalijskim alumosilikatima, zatim koncentriše u sekundarnim produktima (sericit); u sulfidnoj fazi Tl odlazi u pirit, galenit ili u neke sulfoantimonide Pb i dr. Zato, zbog njihovog udruživanja sa kristalnim sfaleritom ovaj poslednji može da nosi tragove Tl.

Kalaj se koncentriše u halkopiritu, galenitu, piritu i sfaleritu-marmatitu. Pojava ovoga elementa u piritu i halkopiritu u visokim sadržajima, kakvi se sreću u Ajvaliji ili Šupljoj Stijeni, prouzrokovana je prisustvom stanina (lit. 27, 13) u njima u vidu izduženih zrna (pirit, Ajvalija) ili uklopaka. Sa druge strane, rasejan je u galenitu, pri čemu se lecansko i zletovsko-vlasinsko geohemijsko rudno polje odlikuje tragovima ili odsustvom kalaja za razliku od svih drugih koja karakteriše jače obogaćenje galenita.

Glavni nosioci antimona u svim ležištima je galenit sa sulfoantimonidima. Međutim, paragenetski odnosi uslovljavaju njegovu pojavu u sfaleritu-marmatitu, halkopiritu, ponekad piritu. Nekada se izdvaja u vidu antimonita u gotovo svim ležištima osim Dobrevu, Blagodati, I. Babuni gde se sadržaj Sb osetno smanjuje i pada ispod granice osetljivosti.

Kadmijum se koncentriše isključivo u sfaleritu, pokazujući izrazito osiromašenje u najmlađim fazama-kleofanima, a Bi i Ag su vezani prvenstveno za galenit i prisutne sopstvene minerale. Nailaženje ovih elemenata i u drugim mineralima uglavnom je posledica paragenetskih odnosa sa mineralima nosiocima.

Sadržaj retkih i drugih mikroelemenata u skarnu i nekim njegovim

Stena, mineral	Skarn N=4		Ilvait N=3	
	$\bar{X}$	od—do	$\bar{X}$	od—do
Pb	481	85—1450	16	12—30
Sn	73	27—130	278	20—600
Mn	8500	0,7—1%	1466	1200—3000
Bi	192	0—310	—	—
Be	3,7	0—15	—	—
Mo	2,7	2—3	—	—
V	—	—	4,6	2—10
La	—	—	—	—
Cu	225	100—300	3,9	1—5
Ag	25	3—45	1	1
Y	11	0—15	—	—
Zn	487	300—650	666	600—800
Ni	6,6	3—8	1	1
Sc	—	—	—	—
Zr	—	—	—	—
Co	(0,5)*	0—2	6,3	0—20
Cr	2,2	0—8	18	0—55
Ba	15	10—20	149	150—250
Sr	17	10—25	15	15—24
In	15	6—22	45	25—70
Ga	27	16—35	7,3	6—9
Tl	—	—	(2)	0—6
Mg	>1%	>1%	1433	700—1800
Ca	>1%	>1%	>1%	>1%
Fe	>1%	>1%	>1%	>1%
Ti			30	30

* Vrednosti u zagradama označavaju srednji sadržaj elemenata ispod granice

tabela 7

frakcijama iz Pb-Zn ležišta Trepča (h-225 m, 315 m i 375 m, gr/t)

Mon. piroksen N=1	Amfibol N=1	S	k	a	r	n
		Fero frakcija N=4			Laka frakcija	
		$\bar{X}$	od—do	$\bar{X}$	od—do	
30	10	3028	12—1%	17	12—30	
200	80	18	0—30	—	—	
1200	700	375	200—600	25	5—90	
—	—	543	0—1000	—	—	
16	10	77	0—300	(1,2)	0—5	
—	—	—	—	—	—	
10	—	—	—	2,5	0—10	
—	—	—	—	35	0—140	
120	15	462	400—600	16	1,5—40	
1	1	190	30—300	(0,2)	0—1	
25	—	—	—	—	—	
—	600	1000	900—1100	—	—	
1	3	3,7	2—8	(0,7)	0—3	
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	17	0—70	
—	—	8,2	3—20	—	—	
20	150	22	0—55	7	0—20	
80	40	130	70—150	127	10—200	
20	15	19	15—25	125	0—500	
70	70	6	0—14	—	—	
13	6	8	3—14	2,5	0—6	
—	—	—	—	—	—	
>1%	>1%	4650	1800—1%	637	250—1800	
>1%	>1%	>1%	>1%	2867	170—1%	
>1%	>1%	>1%	>1%	2025	1500—2200	
—	—					

osetljivosti metode određivanja zbog čestog odsustva u uzorcima.

Nikl i kobalt su vezani prvenstveno za pirit, zatim pirhotin, arsenopirit, nekada halkopirit i sfalerit nalazeći se u stanju jačeg rasejavanja po mineralima.

Selen i telur su mestimično ispitivani u flotacijskim koncentratima, tako da se o njima ima veoma malo podataka. Najveća obogaćenja su utvrđena u galenitsko-halkopiritskoj frakciji (do 60 gr/t Te).

Nasuprot indijumu, a takođe i galijumu, raspored germanijuma u olovno-cinkovim ležištima, odnosno sfaleritu, karakteriše ovu provinciju kao opšte osiromašenu ovim elementom izuzimajući područje olovno-cinkovog ležišta Mežice u Sloveniji.

Na osnovu sadržaja retkih elemenata u sulfidnim mineralima proučavanih ležišta utvrđeno je njihovo pojačano koncentrisanje u određenim stadijumima stvaranja pojedinih mineralnih vrsta. Dalja ispitivanja će još detaljnije okarakterisati njihovu specifičnu raspodelu u mineralima — nosiocima i ležištima različite starosti i strukturnog tipa.

(Predato za štampu oktobra 1968. god.)

LITERATURA

1. Arsenijević M., 1957: — Germanijum u mineralima bakra i topioničarskoj prašini iz borskog rudnika. Izveštaj rudniku Bor i Saveznoj komisiji za nuklearnu energiju u Beogradu.
2. Arsenijević M., 1958: — Prethodno saopštenje o otkriću germanijuma u Boru, Zapisnici Srpskog geol. društva za 1957. Glasnik Prirodnjačkog muzeja (15. I 1958) za 1959. godinu, Beograd.
3. Arsenijević M., 1961: — Indijum i galijum u nekim našim sfaleritima, Glasnik Prirodnjačkog muzeja, Serija A, knj. XIV, Beograd.
4. Arsenijević M., 1965: — Nove pojave indijuma, galijuma i talijuma u olovno-cinkovim ležištima, Fond struč. dok. Inst. za geol-rudarska istraž. i ispit. nuklearnih i dr. sirovina Beograd.
5. Arsenijević M., 1964: — Geohemijske karakteristike sfalerita kopaoničke oblasti, Fond struč. dok. INS, Beograd.
6. Arsenijević M. 1964—1967: — Prethodna razmatranja raspodele Be, Sn, Nb i Mo u mineralima granitoida kao indikatora geohemijskih polja u oblasti Dinarida i Karpatobalkanskog luka. Radovi Instituta za geol. rudar. istraž. i ispitiv. nuklear. i dr. mineralnih sirovina, Beograd.
7. Arsenijević M., 1967: — Retki elementi u Pb-Zn ležištu Dobrevo, Izveštaj, Fond struč. dok. rudnik Dobrevo, Probištip.
8. Arsenijević M., 1968: — Retki elementi u Pb-Zn ležištu V. Majdan, Fond struč. dok. Instituta za geol.-rudar. istraž. i ispit. nuklearnih i dr. mineralnih sirovina, Beograd.
9. Arsenijević M., 1965: — Odraz genetskih uslova na promenu odnosa Ga/In niza Pb-Zn ležišta u marmatitu-sfaleritu. I Simpozijum za geohemiju, Beograd.
10. Vujanović B., 1963: — Rudne pojave kod Bogomile i s. Openice u Makedoniji, Trudovi na geološkiot zavod na SR Makedonija, Skopje.
11. Ivanov V. V., 1966: — Geohemija rasejanih elementov v gidrotermalnih mestorođdenijah, Izdateljstvo »Njedra«, Moskva.
12. Janković S., 1967: — Metalogenetske provincije i epohe u Jugoslaviji, uz Zbornik radova Geološko-rudarskog fakulteta, Beograd.

13. Janković S., 1955: — Geologija i metalogeneza olovno-cinkovog rudišta Šuplje Stijene (Crna Gora), Beograd.

14. Janković S., 1960: — Alegemeine charakteristik der Antimon — Erzlagerstätten Jugoslavien, N. Jahrbuch für Mineralogie, B-94/1.

15. Jurković I., 1957: — Osnovne karakteristike metalogenetske oblasti srednjebosanskog rudogorja, II kongres geologa SFRJ, Sarajevo.

16. Pavlović V, Arsenijević M., 1956: — Talijum u Alšaru i nekim As-Sb ležištima, Trudovi na geološ. zavod na SR Makedonije, Skopje.

17. Pešut D., 1957: — Strukturne karakteristike ležišta Lece, Vesnik zavoda za geol. i geofiz. istraž. knj. XIV, Beograd.

18. Pešut D., 1962: — Tercijarna ležišta Pb-Zn, V Savetovanje geologa SFRJ, Beograd.

19. Radusinović D., Arsenijević M., 1964: — Mineraloške i geohemijske karakteristike sfalerita Trepče, B. Brda, Ajvalije i Kižnice, Fond struč. dok. rudnik Trepča.

20. Radusinović D., 1964: — Mineraloško-genetska proučavanja ležišta N. Brdo, Fond struč. dok. Trepča.

21. Rakić S., 1962: — Klasifikacija genetskih tipova Pb-Zn ležišta tercijarnog magmatizma Dinarida na osnovu karaktera mineralnih parageneza. V Savetovanje geologa SFRJ, Beograd.

22. Rakić S., 1958: — Prilog poznavanju mineralnih parageneza Pb-Zn-Sb rudnika V. Majdan, Selanac, Zapadna Srbija, Vesnik zavoda za geol. geofizič. istraživanja, knj. XVI, Beograd.

23. Sikošek B., 1968: — Pokušaj paleogeografske analize područja Jugoslavije u okviru mezozojskog Tetisa, Radovi Instituta za geol. rudar. istraž. i ispitiv. nuklearnih i drugih min. sir. Beograd.

24. Simić D., 1963: — Zonalnost orudnjenja u olovno-cinkanom ležištu Trepča-Stari trg, Tehnika, rudarstvo i Metalurgija, Beograd.

25. Simić V., 1957: — O starosti Sb-Hg-As orudnjenja u našim oblastima, Vesnik Zavoda za geol. istraživ. SR Srbije, Beograd, knj. XIV.

26. Smejkal S., 1957: — Olovno-cinkovo ležište Blagodat, Vesnik zavoda za geol. i geof. istraživ. SR Srbije, Beograd.

27. Smejkal S., Rakić S., 1957: — Mineralne parageneze olovno-cinkovog ležišta Ajvalije, Prline i Kižnice, Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraž. SR Srbije, knj. XIV, Beograd.

28. Smejkal S., 1958: — Olovno-cinkano ležište Kopaonik (B. Brdo) Vesnik Zavoda za geol. i geof. istraž. knj. XV, Beograd.

29. Cisarc A., 1956: — Postanak rudnih ležišta Jugoslavije, Beograd.

30. Mudrinić Č., 1965: — Distribucija retkih elemenata u Pb-Zn ležištu Srebrenica, I Simpozijum za geohemiju, Beograd.

31. Cisarc A., Rakić S., 1956: — Rudište Zletovo u Makedoniji, primer kompleksnog subvulkanskog hidrotermalnog ležišta, Vesnik Zavoda za geol. i geofiz. istraž. SR Srbije, Beograd.

32. Cisarc A., 1967: — Nova sistematika ležišta na geotektonskoj osnovi i njena primena na jugoslovenska ležišta, Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.

33. Šumaher F., 1950: — Ležište Trepča i njegova okolina, posebno izdanje, Beograd.

34. Dimitrijević B., 1930: — Avala — petrografsko-mineraloška studija, Beograd.

35. Radusinović A., Markov C., 1968: — Kasiterit sa Bukulje, Radovi Isntituta za geološko rudarska istraživanja i ispitivanja nuklear. i dr. mineralnih sirovina, br. 4, Beograd.

Рюзиме

М. АРСЕНИЕВИЧ*

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПРИСУСТВИИ РЕДКИХ И ДРУГИХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛАХ НЕКОТОРЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЮГОСЛАВИИ

Группу редких элементов которые обыкновенно встречаются в свинцово-цинковых и сопровождающих минералах представляют In, Ga, Ge, Cd, Bi, T1, Se и Te. Эти элементы очень часто находятся в изоморфном виде, а так-же и их собственные минералы включенные в минералах главных элементов руд или вмещающих пород. Все другие элементы находящиеся как микроколичества — меньше 1% в минералах и породах — надо называть микроэлементами. Этим упрощается терминология по отношению к наличию численных недоразумений происходящих явно из различия терминов которые встречаются в геохимической литературе (олигоэлементы, малые элементы, рассеянные элементы, микроэлементы, и т.д.). Известен факт что все элементы часто представляются рассеянными в различных геохимических средах. Но редкие элементы кроме своего в геохимическом смысле рассеянного характера, отличяются от остальных микроэлементов такой особенностью что они никогда не образуют собственных месторождений, как это получается у свинца, цинка, серебра, золота, меди, и т.д., которые тоже могут попасть в состояние рассеивания. К этой группе относятся еще Pd, Re, Cs, Rb и другие. Все они скопляются в главных минералах различных руд у которых проявляется резкое геохимическое сходство ионов элементов.

В следствии такой интерпретации в самом деле редкие и другие микроэлементы, входящие в минералы с содержанием меньшим 1% не влияют на формулу этого минерала. Присутвие микроэлементов в таких концентрациях в породах и других средах обозначает их отчетливо низкое количество по отношении к главным составляющим. Значит, так обозначенные редкие элементы, вместе с другими микроэлементами, представляют экономически-геологическую и в то-же время как рассеянные элементы и геохимическую категорию группировки на практике.

Исследования распределения содержаний редких элементов свинцово-цинковых месторождений, которые раньше начаты, проведены в Трепче, Н. Брдо, Бело Брдо, Добрево (Злетово), Велики Майдан, Шупля Стена, Леце, Айвалия, и Извор Бабуна. Полученные данные утверждают среднее арифметическое большего числа микроэлементов между которыми и редких элементов в цинковой обманке, галените, пирите, халькопирите, пирротине, арсенопирите, и в некоторых скарновых минералах (илваит, пироксен, амфибол). Всё эти месторождения приуроченниы и геохимической провинции Динарид. (таблицы 1—7).

* Институт для иследование ядерного сирья.

Цинковая обманка содержит In, Ga и Cd, а очень редко встречается Tl в низких содержаниях. Индий может достич содержание до 1000 гр/т, кадмий до 10.000 гр/т и галлий до 400 гр/т. Марматиты бедны галлием, а сфалериты иногда бывают обогащены этим элементом, пока для клеофана характерно общее обеднение микроэлементами. Распределение In и Ga, а особенно Ga/In, выражает тесную связь с генетическими условиями рудообразования в различных, и тоже и в самом месторождении. Рассеивание In и Ga в ильваите, пироксене и амфиболе указывает на влияние высокотемпературных скарновых процессов в механизме концентрования этих элементов в цинковой обманке и халькопирите. Отсуствие германия тоже характерно для большего числа месторождений цинковой обманки, за исключением месторождения Добрево, где Ge встречается очень редко в низких количествах (до 50 гр/т). В альпийском типе месторождений — в Межице (Словения) — содержание Ge достигает около 150 гр/т в некоторых рудных телах.

Галенит характеризуется содержанием Bi от следов до 1%, или Bi отсуствует в галенитах низкотемпературного происхождения. Серебро доходит до 2000 гр/т, Tl до 100 гр/т, а Sb около 7000 гр/т благодаря обогащению галенитов сульфоантимонидами и другими минералами сурьмы. Замечается общий рост количества Bi с ростом температуры образования галенита и уменьшение количества Sb. Такое явление контролируется отрицательной корреляцией между этой парой элементов которые занимают противуположное направление роста содержаний в зависимости от температуры образования галенита. Иногда Bi и Ag следят друг друга с глубиной рудных жил (Добрево) но такое поведение не является правилом во всех галенитах из других месторождений.

Пегматитовые галениты тоже обогащены Bi и эти содержания находятся приблизительно в одинаковых интервалах как у кататермальных галенитах Pb—Zn месторождений.

Халькопирит содержит In до 700 гр/т; но In очень часто отсуствует, или же для него характерно низкое содержание в этом минерале. Серебро и сурьма всегда присуствуют в повышенных содержаниях благодаря включениям их минералов в халькопирите. Селен и теллур систематически не исследованы в концентратах галенита и халькопирита.

Замечается обогащение пирита талием в самых молодых стадиях его выпадения. Талий не выходит за границу содержания в 1000 гр/т в мелкозернистых и криптокристаллических разностях пиритов последних фаз кристаллизации, пока в пирите более высокой температуры образования полностью отсуствует.

Никкель и кобальт очень редко присуствуют в высоких содержаниях в пирите. Только молодые пириты обогащены до 3000 гр/т. Такие пириты подчеркивают бедность пирита по отношении к Ni и Co из синцово-цинковых минеральных парагенезисов этих месторождений.

Пирротин тоже беден Ni и Co, а по своему микрохимическому составу не типичный минерал исследованных парагенезисов. Арсенопирит показывает похожие характеристики.

Надо отметить что содержание других микроэлементов во всех исследованных минералах часто обусловленно механическими примесями минералов которые происходят из причин очень сложных парагенетических отношений между главными минералами свинцово-цинковой минерализации.

Исследования которые еще не закончены выявили интересные данные о содержании редких элементов в ряду Pb—Zn месторождений. Очевидно что эти данные должны быть использованы и в экономических целях.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

MILORAD ARSENIJEVIĆ

UDK = 550.42:546.791+546.841 (497.11)

PRILOG POZNAVANJU RASPOREDA URANA I TORIJUMA U TUFOVIMA (VLADIČIN HAN)

(sa 5 slika i 3 tabele)

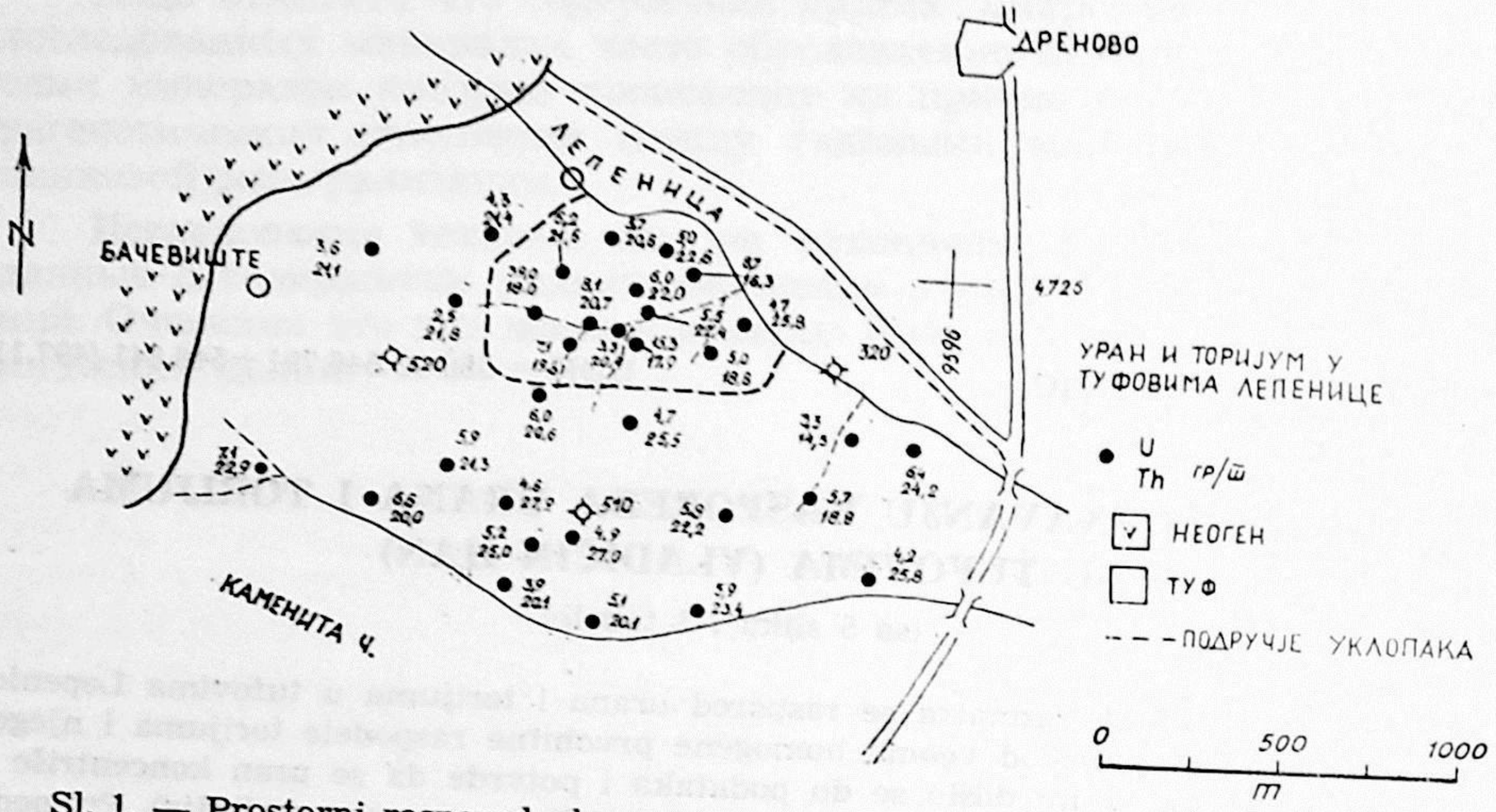
U ovome prilogu razmatra se raspored urana i torijuma u tufovima Lepenice (Vladičin Han). Polazeći od veoma homogene prvobitne raspodele torijuma i njegovog odnosa prema uranu došlo se do podataka i potvrde da se uran koncentriše u tufovima na pogodnim geohemijskim barijerama (gline, organska materija). Promena geohemijskih uslova prouzrokuje i kasnije pokretanje urana iz anomalnih centara pod uticajem natrijskih hidrokarbonatnih voda čime se u oksidacionoj zoni vrši iznošenje, a u redukcionim uslovima dolazi do adsorbcije urana. Na taj način se potvrđuje mogućnost obrazovanja infiltracionih nagomilavanja urana u nižim delovima tufne serije sa redukcionim uslovima ili u nekim sedimentima ispod tufne serije, što je već zapaženo pri proučavanju tufova u svetu i kod nas.

Na području Lepenice, odnosno Vladičinog Hana, vulkaniti su šire rasprostranjeni, a predstavljeni su dacitima, andezitima i njihovim tufovima. U ovome prilogu biće posmatrani samo tufovi i to užeg dela s. Lepenice. Da bi se uočile osnovne karakteristike rasporeda sadržaja urana i torijuma, kao i drugih elemenata, sakupljeni su uzorci iz tufne serije (sl. 1) na kojima su izvršene radiometrijske, hemijske, petrografske, spektrohemijske i termičke analize.

Ove stene su predstavljene pretaloženim tufovima preko kojih leže uslojeni tufovi pravca pružanja I—Z. Za pretaložene tufove je karakteristična brečasta tekstura. U njihovoj građi učestvuju valuci biotit-granita, zatim odlomci gnajsa, opalska masa, dijabazi. propilitisani dacit, pa čak i proslojci nečistog uglja. Ova vrsta čini podinu uslojenim sitnozrnijim tufovima. Međutim, njihov međusobni odnos, a takođe i odnos prema neogenim sedimentima, nije detaljnije izučavan. Zato su obe vrste posmatrane kao jedinstvena tufna serija koja ukazuje da je piroklastični materijal taložen u priobalskim uslovima.

Po mineralnom sastavu pripadaju dacitskim tufovima, a u njima se ređe sreću stene dacitskog ili andezitskog sastava. Boja im varira od tamnosive do svetlosive, zelenkaste, žućkaste, a nekada su i limonitisani. U sebi sadrže »uklopke« žutog tufa sa prelazima u žutosivu boju prema

matičnoj steni. Izrazita poroznost, naglašena brečastom teksturom, potpomaže pojačano mehaničko-hemijsko pretvaranje čemu još doprinose sistemi pukotina i raseda pravca SZ—JI i SI—JZ.*



Sl. 1. — Prostorni raspored ukupnog urana i torijuma u tufovima (Lepenica).

Sadržaj ukupnog urana u tufnoj seriji (sl. 1) kreće se od 2,5—39,0 gr/t, torijuma od 14—30 gr/t, a odnos Th/U se nalazi u granicama 0,4—8,7. Raspored ovih mikroelemenata ne ukazuje na posebne razlike u mikrosastavu čak i u onim slučajevima gde su sigurno utvrđeni pretaloženi i uslojeni tufovi. Zato se oni, naročito u odnosu na homogeni raspored torijuma (sl. 2), mogu posmatrati geohemijski kao jedinstvena formacija okarakterisana donjim parametrima (tabela 1).

Tabela 1

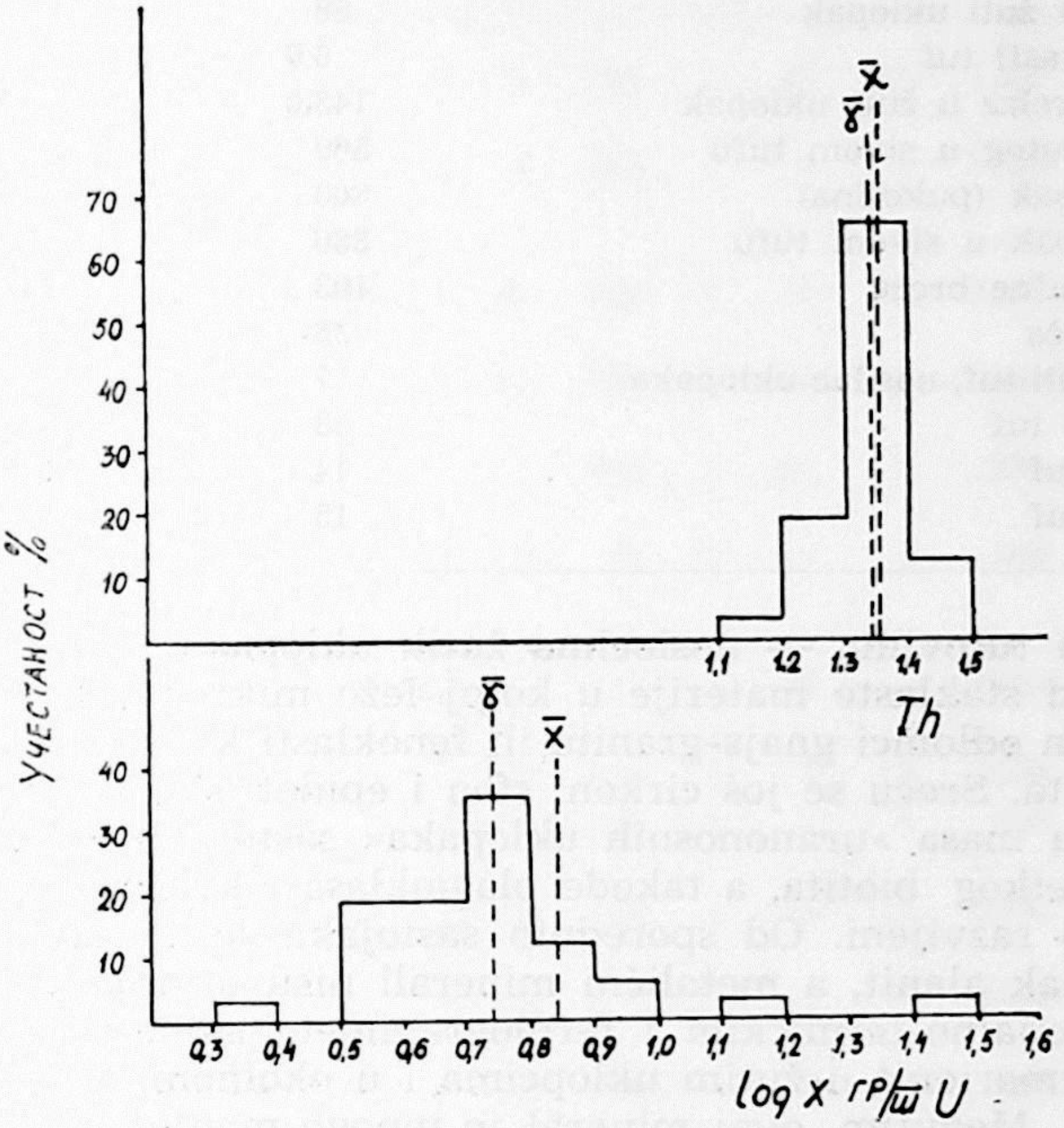
Srednji sadržaj urana i torijuma u tufovima (Lepenica)

Vrsta stene N 32	U				Th				Th/U
	$\bar{X}$	$\bar{\gamma}$	σ	V%	$\bar{X}$	$\bar{\gamma}$	σ	V %	$\bar{X}$
Dacitski tuf	6,7	5,5	0,25	4,5	21,4	21,38	0,07	0,3	4,0

Ovakav sadržaj torijuma, a takođe i urana, jasno pokazuje da je vulkanska faza, koja je donela tufove, bila primarni nosilac radioaktivnih elemenata. Fizičke osobine stena (poroznost, ispucalost, itd.) i količina rastvornog urana, koji se nalazi u intervalu od 40—95% od ukupnog urana u steni, omogućavaju značajne uticaje hemijskih činilaca na stabilnost pri-

* Pri terenskim radovima 1963. god. učestvovao je i P. Vasiljević, radiometrijske analize izvršila je R. Nedimović, petrografske V. Ćebić, termičke S. Hadžipopović i hemijske V. Ocokoljić na čemu im se toplo zahvaljujem.

marnih sadržaja urana. Nestabilnost sadržaja urana u sličnim sredinama opravdano upućuje na znake intenzivne preraspodele i u ovoj tufnoj seriji. Torijum je, naprotiv, poznat kao teško migrativan elemenat u vodenim rastvorima, pri epigenetskim procesima, čak i u uslovima tako poroznih i za preraspodelu elemenata pogodnih stena kao što su tufovi i tufne breče. Zato, oštro kolebanje odnosa Th/U, kakvo se sreće u ovoj



Sl. 2. — Raspodela U i Th u tufovima Lepenice: $\bar{X}$ — aritmetička sredina, $\bar{\gamma}$ — geometrijska sredina, σ — disperzija, V — koeficijent varijacije oko sredine, N — broj uzoraka

seriji, ima indikativan karakter u pogledu očigledno izraženog prenošenja urana i naknadnog nagomilavanja u tufovima i brečama. Izrazito visoki odnosi Th/U, iznad vrednosti 3—5, upravo otkrivaju pojačano iznošenje urana iz tufova, a oni ispod uobičajene granice za kisele stene jasno ističu epigenetsko koncentrisanje u pojedinim delovima ovih vulkanita. Jer, »uranonosni tufovi« nisu poznati u prirodi a da se uran nije koncentrisao u njima, menjajući primarni odnos Th/U na račun prvobitnog sadržaja torijuma, koji je ostao nepromenjen pod dejstvom sekundarne preraspodele. Time se, u ovome slučaju, iz odnosa Th/U uočavaju delovi serije u kojima je došlo do naknadnog povećanja sadržaja urana. Takvi znaci se sigurno i potvrđuju nalaženjem »uklopaka« žute ili žutosive boje sa sadržajem urana do 560 gr/t, zatim u tufnim brečama ili tufovima uopšte. Uklopci su često vezani za sisteme pukotina, vidljivih na području otkrivenom erozijom, a razlike između njih i tufne serije su očigledne bilo u pogledu sadržaja urana ili mineralnog sastava (sl. 1, tabela 2).

Tabela 2

Sadržaj urana i torijuma u žutim uklopcima tufa, okolnim tufovima, tufnoj breči i uglju iz tufne breče (gr/t)

Vrsta stene	U	Th	Th/U
1. Sivi tuf uz žuti uklopak	66	23	0,34
2. Sivozelenkasti tuf	6,6		
3. Sivožuti prelaz u žuti uklopak	143,0		
4. Uklopak žutog u sivom tufu	560		
5. Žuti uklopak (pukotina)	363	17	0,04
6. Žuti uklopak u sivom tufu	380	4	0,01
7. Ugalj iz tufne breče	103		
8. Tufna breča	36	24	0,6
9. Sivožućkasti tuf, nosilac uklopaka	7	30	4,2
10. Zelenkasti tuf	33	19	0,5
11. Uslojeni tuf	14	30	2,1
12. Uslojeni tuf	15	13	0,8

U sivim tufovima — nosiocima žutih uklopaka — osnovna masa je izgrađena od staklaste materije u kojoj leže mikroliti kvarca, feldspata, biotita, zatim odlomci gnajs-granita ili fenoklasti kvarca, zonarnih plagioklasa i biotita. Sreću se još cirkon, sfen i epidot (V. Ćebić).

Osnovna masa »uranonosnih uklopaka« sastoji se od mrke glinovite materije i retkog biotita, a takođe plagioklasa i kvarca čiji su fenoklasti nekada lepo razvijeni. Od sporednih sastojaka se zapažaju apatit, sfen, cirkon i redak alanit, a metalični minerali nisu utvrđeni.

Diferencijalno-termičkim i termogravimetrijskim ispitivanjem utvrđen je montmorionit u žutim uklopcima i u okolnom tufu (S. Hadžipopović). Međutim, ovaj mineral je mnogo manje zastupljen u sivom tufu (2,43%) nego u žutim »uranonosnim uklopcima« (7,09%). Svakako da se u oba slučaja mogu očekivati jača kolebanja sadržaja.

Razlike koje se zapažaju u mineralnom sastavu između žutih uklopaka i tufne serije još više se naglašavaju i rasporedom drugih mikroelemenata. Tako, dok se sadržaj urana u žutim uklopcima nalazi u okviru granica približno od 70—600 gr/t, u svim drugim stenama, izuzev proslojaka uglja, njegovi najviši sadržaji ne prelaze 40 gr/t. Torijum u uklopcima dostiže sadržaj od 4—17 gr/t. Jače variranje sadržaja jednog i drugog javlja se u graničnim delovima sa žutim uklopcima. To znači da se i na mikroprofilu uklopka, veličine nekoliko desetina cm, oseća postepeno opadanje količine urana prema sivom matičnom tufu (sl. 3. 1, 2, 3, 4, 5).

Raspored i drugih mikroelemenata, kao itrijuma i barijuma, takođe potvrđuje već zapažene razlike u sastavu ovih stena (tabela 3). Posebno se ističe prisustvo povišenih sadržaja itrijuma koji, pored urana, označava žute uklopke kao sredinu gde je došlo do njegovog koncentrisanja (130—205 gr/t). Na mikroprofilu (sl. 3, 5) se zapaža prelaz od žutog uklopka prema sivom tufu uz opadanje sadržaja (80 gr/t). U sivim tufovima, kao i brečastim partijama, raspored itrijuma je uobičajen za kisele stene. Nasuprot ovome, barijum pokazuje porast sadržaja u tufnoj seriji i osiromašenje u žutim uklopcima sa montmorionitom i to za oko tri puta.

Tabela 3

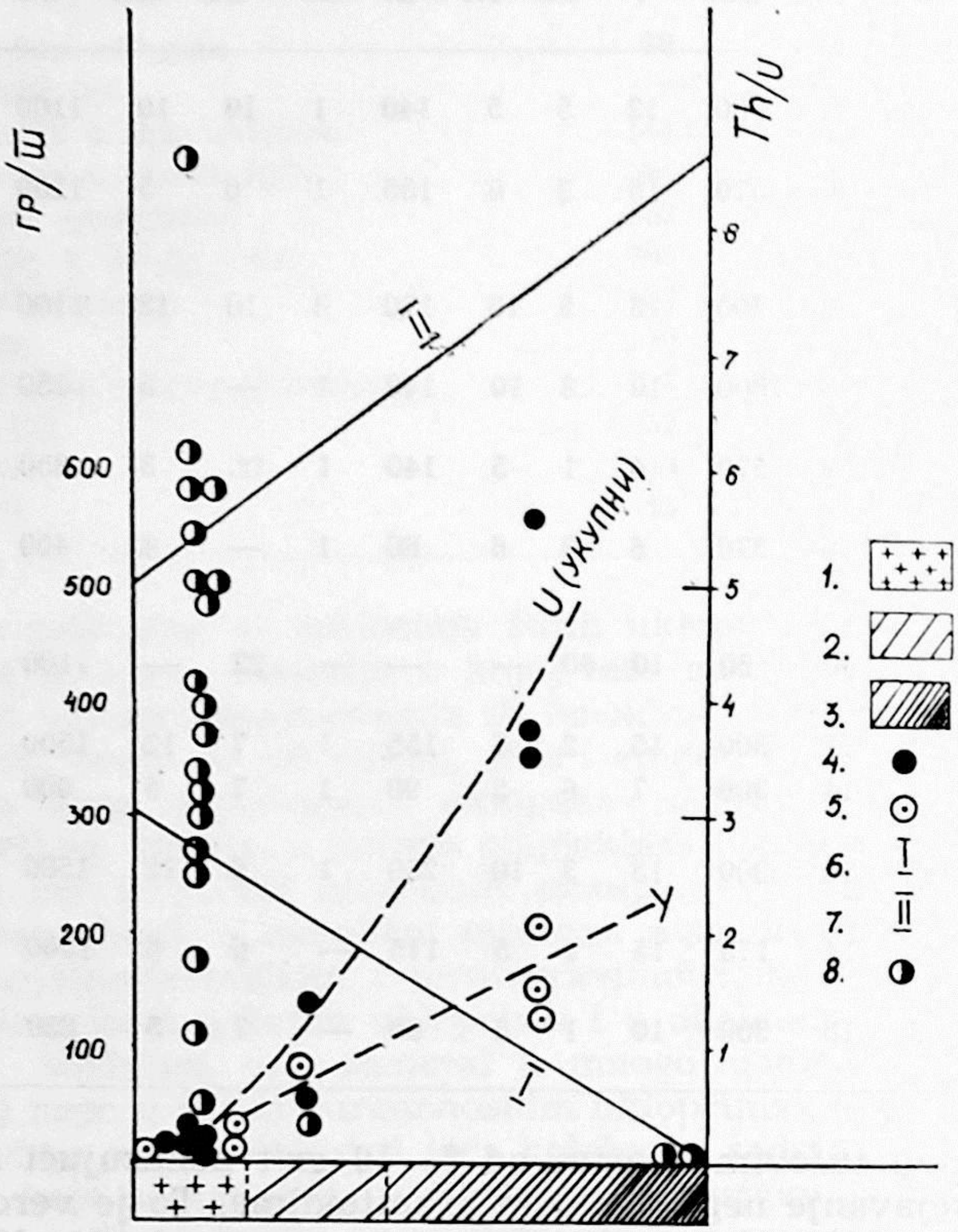
Sadržaj mikroelemenata u varijetetima tufova Lepenice (gr/t).

Vrsta stene	Be	Y	Mn	V	Cu	Ni	Zr	Co	Sc	Cr	Ba	Sr	Pb	Ga
1. Sivi tuf	7	12	700	12	5	5	140	1	10	10	1100	150	50	12
2. Sivozelen-kasti tuf	10	30	570	15	3	6	155	1	6	5	1100	140	15	9
3. Sivožuti prelaz u uklopak	4	80	700	15	5	10	170	3	10	12	1100	350	27	12
4. Žuti uklopak	—	205	1800	10	3	10	140	1	—	5	350	50	25	10
5. Žuti uklopak	4	150	570	4	1	5	140	1	tr.	3	350	140	25	8
6. Žuti uklopak	4	130	570	6	3	6	60	1	—	4	400	200	20	20
7. Ugalj iz tufne breče	400	500	50	10	60	—	—	—	22	—	1100	50	15	—
8. Tufna breča	10	17	300	15	2	7	155	1	7	12	1500	420	32	15
9. Sivožuć. tuf	6	14	300	7	6	5	90	1	7	5	600	350	40	10
10. Zelenkast alterisan tuf	7	10	300	15	3	10	250	1	6	12	1500	420	60	13
11. Sivi uslo-jeni tuf	8	14	175	15	1	5	115	—	6	6	1500	420	25	10
12. Sivi uslo-jeni tuf	8	10	300	10	1	3	90	—	7	5	850	500	25	10

Berilijum u tufovima varira od 7—10 gr/t pokazujući svakako više normalno rasejavanje nego u nekim granitoidima. To je verovatno posledica berilijumovih karakteristika magmatizma na području Kukavice koja se odlikuje pegmatitskom fazom sa berilom (lit. 6). Usled toga, moguće je da berilijum u tufovima vodi poreklo od primarnog sadržaja u magmi koji se odrazio i u eruptivnom gasovitom stadijumu obrazovanja tufova. Ali, nije isključeno ni sekundarno prinošenje u toku taloženja tufova u priobalskoj zoni bilo putem hemijske ili mehaničke migracije berilijuma.

Veoma složeni procesi primarnog rasejavanja i epigenetskog koncentrisanja urana i drugih elemenata zapaženi su i u slučaju lignita u tufnim brečama. Ovaj ugalj sadrži 103 gr/t urana, do 400 gr/t berilijuma i 500 gr/t itrijuma. U neorganskoj frakciji učestvuju kvarc, feldspat, hlorit i retko cirkon i alanit. Odstranjivanjem organske materije pomoću vodonik-peroksida u prirodnom uglju je utvrđena termički inertna materija izgrađena od pomenutih silikata, što znači da osim organske materije nisu prisutni drugi adsorbenti. Gubitak pri žarenju, koji je iznosio 22%, i neorganski ostatak govore da su uklopci uglja dosta nečisti. Međutim, sadržaj itrijuma i berilijuma ostaje gotovo nepromenjen i u lakoj frakciji ($< 2{,}30$) sa organskom materijom.

Ako se ima u vidu normalno rasejavanje torijuma, urana i njihov odnos u tufovima, a zatim koncentrisanje urana u žutim uklopcima i brečama ili uglju odmah se može zaključiti da je u tako poroznoj sredini zaista značajno izražena epigenetska preraspodela. Pri tome sigurno najznačajniju ulogu imaju podzemne i površinske vode u zoni pojačane

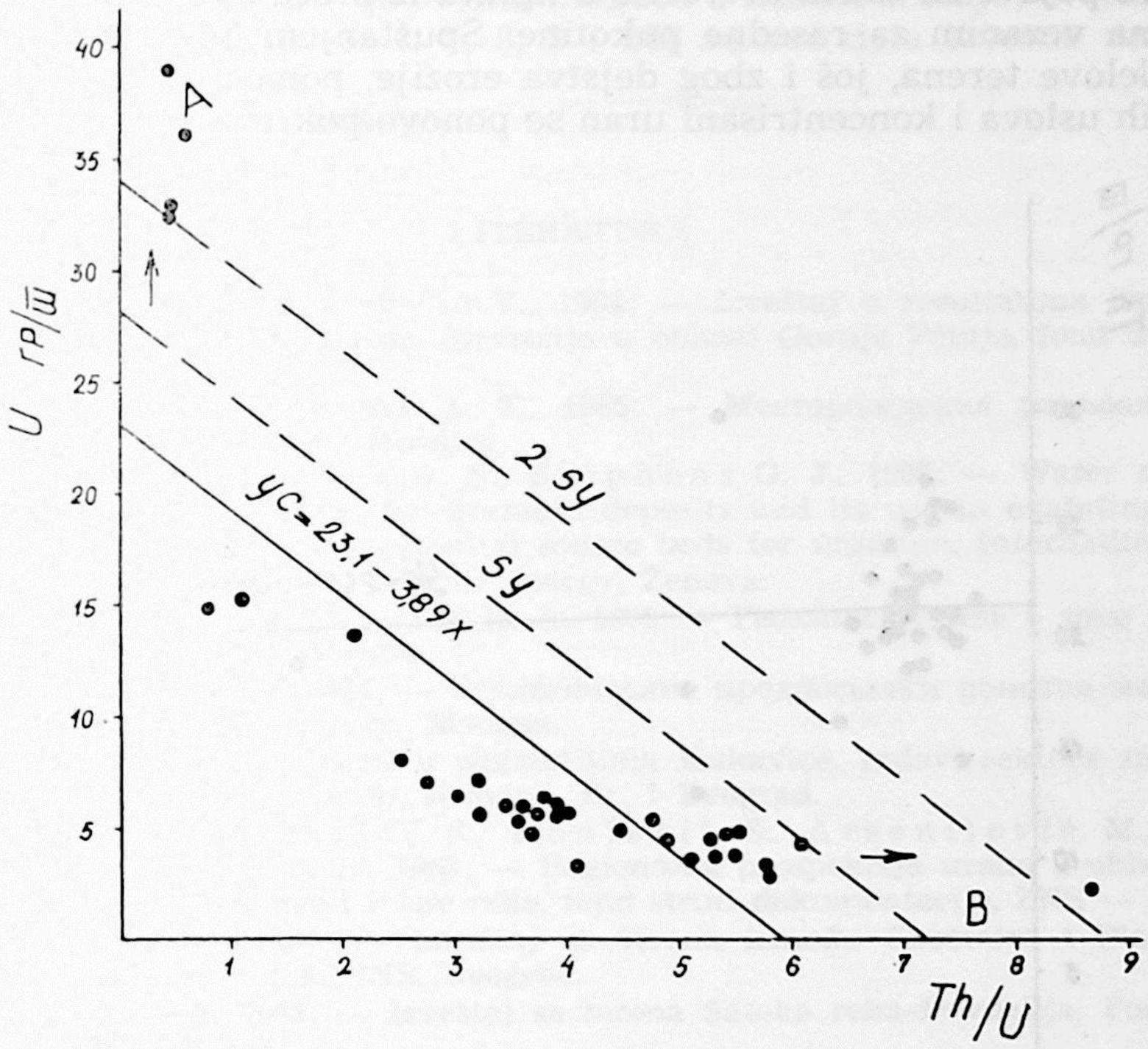


Sl. 3. — Ponašanje nekih sastojaka u tufovima i uklopcima.

1 — sivi tuf-nosilac uklopaka, 2 — prelazni sivožuti deo, 3 — žuti uklopak, 4 — uran, 5 — itrijum, 6 — oblast epigenetskog koncentrisanja urana, 7 — oblast iznošenja urana iz tufa, 8 — odnos Th/U u tufnoj seriji i uklopcima.

oksidacije. To se očigledno potvrđuje činjenicom da se sadržaj rastvornog pokretljivog urana u tufovima kreće u intervalu 40—95%, dok u uklopcima i uglju procenat pokretljivog urana se nalazi oko gornje granice intervala. Upravo takvo stanje urana i pogoduje njegovoj preraspodeli između vodene sredine i prisutnih adsorbenata u oksidacionoj i redukcionoj zoni. S obzirom na fizičke osobine posmatranih tufova, atmosferske, odnosno površinske i podzemne vode lako iznose uran i druge sastojke iz ovih još i ispucalih i trošnih stena. Po hemijskom sastavu — anjonskom

i katjonskom — ove vode su hidrokarbonatne (80—90% mgekv HCO_3) i natrijskog tipa (do 85% mgekv Na+K), a ređe su magnezijske sa pH= =7 — 8. Ovakav hemizam i slaboalkalni karakter voda odlikuje ih izuzetno agresivnim dejstvom na okolne stene i u kojima uran lako migrira, obično u vidu kompleksnog alkalnog uranil-karbonata. U takvim uslovima, moguća je pokretljivost i drugih jona kao molibdena, srebra, itrijske grupe elemenata, silicije, vanadijuma, bakra i dr.

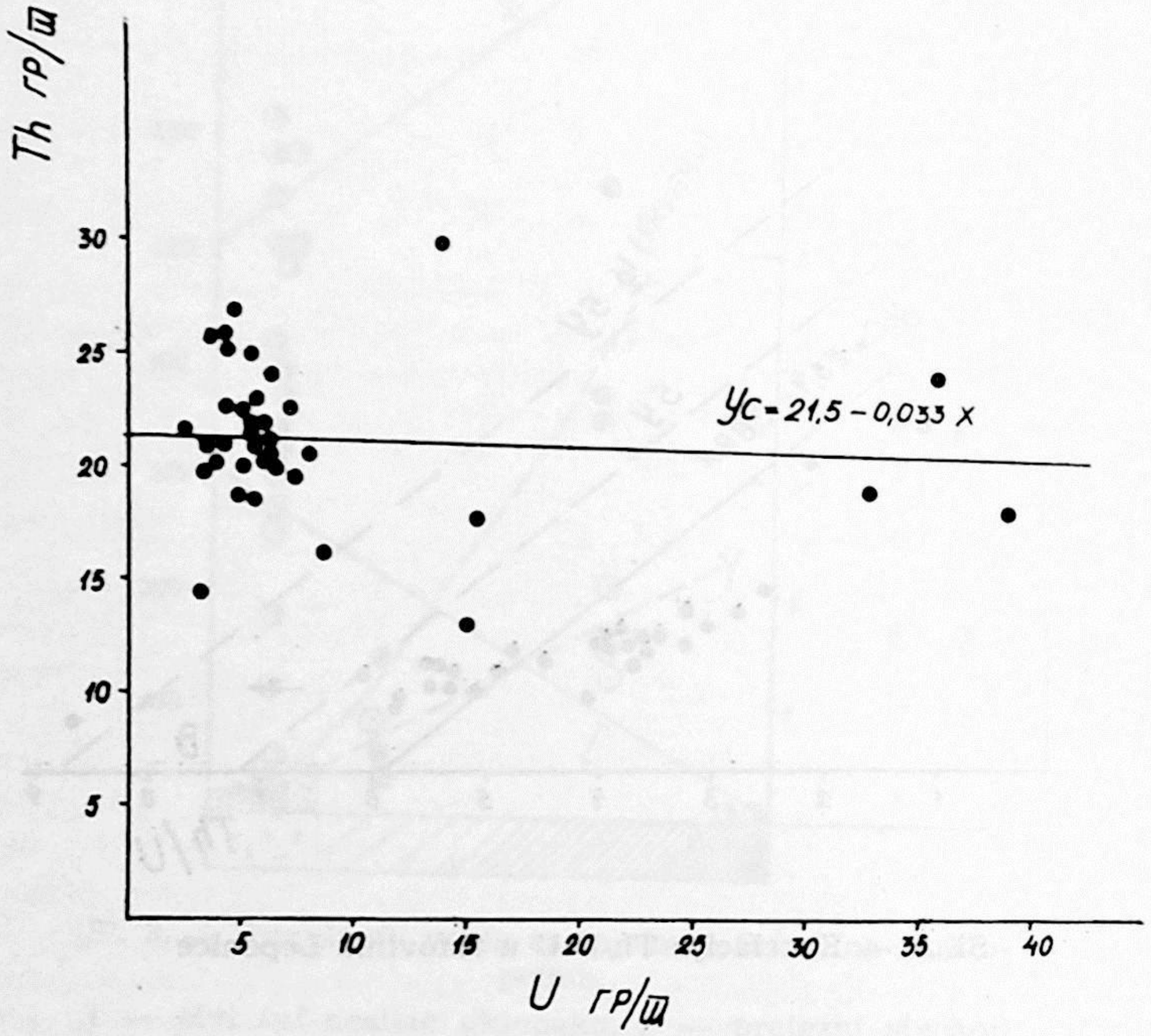


Sl. 4. — Korelacija Th/U:U u tufovima Lepenice

Zapažena raspodela urana se očigledno potvrđuje negativnom korelacijom Th/U : U u tufovima sa r=0,77 značajnim na nivou poverenja 1% i 5%. Time se ističe pojava da porast sadržaja urana, uz neznatnu disperziju torijuma, jednostrano menja i smanjuje odnos Th/U. Pri tome se, u ispitivanoj seriji uzoraka, van 2 standardne greške grupišu sadržaji U (sl. 4 A) nastali kao rezultat naknadnog obogaćenja. Na isti način se sigurno označava prisustvo iznošenja urana iz ovih stena i ono je uočljivo već kod odnosa Th/U>6, a neosporno je izvan granice 2 Sy (sl. 4, B). Slične posledice karakterišu i korelaciju U : Th, jer statistički parametri pripisuju uranu nezavisno koncentrisanje u odnosu na torijum (sl. 5) koji ne pokazuje znake preraspodele u ovim stenama zahvaćenim epigenetskim procesima. Ovakvo stanje se potvrđuje odsustvom veze između urana i torijuma čiji je koeficijent korelacije r=0. Besumnje, otkrivene geohemijske karakteristike raspodele U i Th odnose se na tufove koji su prošli slo-

žene procese dijaganeze i još uvek trpe znatne uticaje hemijskog pretvaranja i promena makro i mikrosastava.

Tufovi, ustvari, predstavljaju primarne izvore urana koji se iz njih, u uslovima oksidacione zone, iznosi posredstvom vodenih rastvora i prenosi u dublje ili niže delove podloge. Na geohemijskim barijerama, u redukcionim i adsorbcionim uslovima, koje u ovome slučaju predstavljaju organska materija u brečama i glina u uklopcima, dolazi do adsorbcije urana bilo u toku dijageneze ili kasnije usled cirkulacije uranonosnih voda. Takve pojave su zaista utvrđene u lignitu iz breča i genezdastim žutim uklopcima vezanim za rasedne pukotine. Spuštanjem oksidacione zone u dublje delove terena, još i zbog dejstva erozije, pomeraju se granice redukcionih uslova i koncentrisani uran se ponovo pokreće. Osim normalnog



Sl. 5. — Korelacija U:Th u tufovima Lepenice

ispiranja iz stena na ovome području, sekundarna nagomilanja urana dalje dejstvuju kao anomalni centri obogaćujući površinske — ako su u nivou erozionog preseka — i podzemne vode ovim elementom i do 400×10^{-6} gr/lit. U nekim anomalnim podzemnim vodama, u suvom ostatku, javlja se i molibden do 15 gr/t. Pod takvim režimom došlo je do ovakve raspodele urana u izučavanoj sredini, a veći sadržaj glinovite materije u uklopcima, nekada limonitisanim, stvara od njih pogodniju adsorbcionu sredinu nego što su to tufovi.

Ustvari, problem epigenetske preraspodele urana u različitim stenama je, a takođe i u tufovima, već dugo vremena izučavan (lit. 2, 3, 4, 5). D e n-

s o n i dr. su još 1955. godine ukazali da su tufozne stene i tufovi primarni izvori urana za sedimentne formacije koje leže ispod njih, a da je uran u tufovima fiksiran u vreme njihovog stvaranja, u fazi erupcije kiselih vulkanita. Pod uticajem cirkulacije natrijskih i hidrokarbonatnih voda, sa pH=7,5—9,5, tokom vremena nastaju sekundarna nagomilanja urana u peščarima ili drugim poroznim stenama sa pogodnim cementom. Na taj način se, tvrde i drugi autori, (lit. 4) stvara mogućnost za obrazovanje malih infiltracionih ležišta urana. Zato dalja proučavanja treba vršiti mnogo detaljnije nego što je to bilo moguće u našem slučaju, a dosadašnja proučavanja tufova (lit. 1, 4, 7, 8, 9 i 10) su već dala izvesne rezultate.

(Predato za štampu marta 1969. g.)

LITERATURA

1. A n t o n o v i ć A., V u j a n o v i ć V., 1964: — Izveštaj o rezultatima ispitivanja uranonosnih vulkanita i dr. formacija u oblasti Gornje Pčinje, fond dok. ZNS Beograd.
2. Данчев И. В., Латинская А. Т., 1965: — Месторождения радиоактивного сырья, Изво. „Недра“, Москва.
3. D e n s o n M. N., Z e d l l e r D. N., S t e p h e n s G. J., 1955: — Water sampling as a guide in the search for uranium deposits and its use in evaluting widerspraid volcanic units as potential source beds for uranium, International conf. on the peaceful uses of Atomic energy, Ženeva.
4. Евсеева С. Л., Перелман И. А., 1962: — Геохимия урана в зоне гипергенеза, Госгеолиздат, Москва.
5. Красников И. В., 1964: — Геологические предпосылки поисков месторожденый урана, Атомиздат, Москва.
6. N i k o l i ć D., 1963: — Beril u pegmatitima Kukavice, radovi sektora za istraživanje nuklearnih i dr. min. sirovina, Br. 1 Beograd.
7. P e t r o v i ć M., P o k r a j a c S., K o n j e v i ć S., A r s e n i j e v i ć M., Ć i r i ć V. i M i l o v a n o v i ć S., 1963: — Regionalna prospekcija urana u oblasti Gornje Morave, Jablanice i Puste reke, fond struč. dokumentacije, ZNS — Beograd.
8. T e o f i l o v i ć M., 1954: — Izveštaj sa terena između Skočivira i Starevinske reke, Fond struč. dok., INS, Beograd.
9. T e o f i l o v i ć M., 1955: — Izveštaj sa terena Satoka reka-Đevđelija, Fond struč. dok., INS, Beograd.
10. V u j a n o v i ć V., A n t o n o v i ć A., 1967: — Uranska orudnjenja u tufozno-rožnačkoj formaciji Surlice, Radovi Instituta za geol. rudarska istraž. i ispit. nuklear. i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Р е з ю м е

М. АРСЕНИЕВИЧ*

УРАН И ТОРИЙ В ТУФАХ (ВЛАДИЧИН ХАН — СЕРБИЯ)

В этой статье трактуется распределение урана и тория в дацитовых серых туфах и туфных брекчиях сопровождаемых отложениями неогена. Содержание урана находится в интервале 2,5—39,0 гр/т, тория 13—30 гр/т, пока отношение Th/U располагается в границах 0,4—8,7. В туфах замечаются жёлтые „анклавы”, которые обыкно-

* Институт для иследование ядерного сирья.

венно приурочены к трещинам, а в брекчиях лигнит. В жёлтых анклавах уран достигает содержание 560 гр/т, а в угле не выходит за границы 103 гр/т. В угле находятся повышенное количество итрия (около 500 гр/т), затем, берилия (400 гр/т), а являются и другие микроэлементы. Жёлтые анклавы обогащены глинистым веществом (монтмориллонит) в три раза больше чем туфы и характеризуются ещё содержанием итрия до 205 гр/т.

Отношение Th/U и наличие содовых — гидрокарбонатных вод индицируют очень резкое епигенетическое прераспределение урана в этих пористых породах. Миграти́вная часть урана очень высокая в породах (40—95%). Этым потверждается, в нашем случае, влияние химического состава вод на выщелочивание урана и его переотложение в процессе диагенеза туфных вереговых отложений и епигенетических действий на геохимических барьерах в востановительных условиях, в присутствии глинистого и органического вещества. Попаданием ураносодержащих веществ снова в условия окисления, с понижением уровня эрозионного среза, итд., уран претерпевает ремобилизацию. В следствии этого воды обогащены ураном и до 400×10^{-6} гр/лит. в туфной серии кроме выщелочивания рассеяного урана из пород. Присутствие этых процессов потверждается корреляционным анализом.

Эти вопросы были очень хорошо выяснены в литературе (лит. 2, 3, 4, 5). Денсоном и другим, а особенно советским авторами, подчеркиваются туфы как первичны источники урана для подстилающих пород (песчаники, итд.) и что они обогащены первичным ураном в процессе образования кислых вулканических эквивалентов. Распределение Th в туфах, и его незначительна вариация ($V = 0{,}3\%$) около среднего утверждает первичный характер Th и урана в этих породах не смотря на поздние процессы прераспределения урана, в нашем случае.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

V. VUJANOVIĆ
S. CVETIĆ

UDK = 553.24.065 (497.17)

REGENERACIONI I DRUGI POSTGENETSKI PROCESI U Fe-LEŽIŠTIMA ZAPADNE MAKEDONIJE*

(sa 11 slika)

U ovom radu reč je o svim promenama koje su pretrpela ispitivana ležišta gvožđa u zapadnoj Makedoniji i to metamorfnim, regeneracionim i descedentnim. Svi ovi događaji posebno su opisani, pri čemu je posebno ukazano na značaj pojedinih događaja u pogledu na promenu na mineralni sastav pod uticajem naknadnih događaja, kao i na koncentraciju, odnosno rasejavanje gvožđa. Takođe je učinjen pokušaj utvrđivanja uzročnika pojedinih promena u opisanim ležištima pri čemu se navode tri glavna uzročnika: dinamometamorfni procesi, prodori mlađih kiselih magmatskih stena u uže ili šire područje ispitivanih ležišta i na kraju, površinske i podzemne vode koje su dovele do stvaranja descedentnih minerala gvožđa.

Izvršen je i pokušaj klasificiranja pojedinih ležišta gvožđa u zapadnoj Makedoniji, na osnovu mineraloškog sastava, strukture minerala, načina pojavljivanja minerala gvožđa, kao i postgenetskih procesa.

Ležišta gvožđa zapadne Makedonije do nedavno su bila relativno slabo proučena, tako da se tek poslednjih godina ona intenzivno istražuju i ispituju. Što se tiče mineraloških ispitivanja, njih je ranije vršio A. Cissarz (1954), ali se ovaj autor ograničio na silikatna, tj. oolitna ležišta. Cissarz je ipak dao osnovne mineraloške karakteristike za niz ležišta kao što su Tajmište, Ehlovec, Demir Hisar, Babin srt, Malkovec i Judovo, a takođe i strukturne odnose. Cissarz smatra da je većina primarnih ležišta koja je on ispitivao sadržavala samo Fe-silikatne tvorevine i da samo u ležištima Slepče i Orlov kamen imamo pored silikata i primarni siderit. Pojavu ostalih minerala kao što su hematit, magnetit i dr., kao velike količine siderita on objašnjava dijagenetskim, ili metamorfnim procesima, a pojave limonita descedentnim.

Novija ispitivanja, ostvarena u mnogo boljim uslovima pokazala su da sadržaji pojedinih minerala u ispitivanim ležištima ne odgovaraju sasvim sadržajima koji su poznati iz ranijih izveštaja i literaturnih podataka, što je naročito karakteristično za ležište Tajmište, gde zastupljenost Fe-silikata nije ni izdaleka tako velika. Takođe su ova ispitivanja pokazala da postgenetske promene u nekim Fe-ležištima ne odgovaraju sasvim pro-

* Prošireni referat sa VI savetovanja geologa u Ohridu, 1966. god.

menama koje navode raniji istraživači. Sem toga ovim ispitivanjima se pokušalo sa utvrđivanjem uzročnika tih promena, počevši od metamorfnih, preko hidrotermalnih do descedentnih, kao i njihovog značaja u pogledu obogaćivanja postojećih ležišta u gvožđu.

Novijim, odnosno našim, ispitivanjima obuhvaćeni su i drugi tipovi ležišta, kao što su hematitska, hematitsko-manganska i dr., na koji način su obuhvaćene sledeće lokalnosti: Cer, Mala planina, Osoje, Izvori, Crnec, Izbišta, Novo selo, Sapotnica, Demir Hisar, Midinci, Tajmište, Babin srt, Orlov kamen i dr. Na taj način su obuhvaćeni skoro svi tipovi sedimentnih ležišta u zapadnoj Makedoniji.

Na osnovu svih ranijih, kao i naših ispitivanja, mi smo pokušali da damo i jednu preliminarnu klasifikaciju Fe-ležišta u zapadnoj Makedoniji i to na sledeći način:

1. Oolitska ležišta gvožđa
2. Ležišta Fe-hloritskih škriljaca i peščara
3. Hematitsko-Fe-hloritska ležišta
4. Ležišta hematita
5. Hematitsko-manganska ležišta
6. Ležišta hidroksida gvožđa

Uz ovo treba naglasiti da su ovom podelom obuhvaćena samo sedimentna i vulkansko-sedimentna ležišta, dakle ležišta koja predstavljaju članove određenih stratigrafskih horizonata.

Oolitska ležišta gvožđa

Kao najkarakterističnije i mineraloški najbolje proučeno ležište ovog tipa treba pomenuti Tajmište. Ovde takođe spadaju ležišta Demir Hisar, Babin srt, Orlov kamen, Bolno i dr. U svim navedenim slučajevima primarna ruda je predstavljena mineralima iz grupe Fe-hlorita, koji izgrađuju kako oolite, tako i osnovnu masu u kojoj ovi ooliti leže. Ooliti mogu da preovlađuju i da u nekim delovima ležišta predstavljaju osnovnu masu cementovanu sličnim materijalom, dok se u drugim skoro sasvim povlače. Nekad, kao što je to slučaj sa Tajmištem, Demir Hisarom i Novim Selom (bušotine), pored minerala iz grupe Fe-hlorita javlja se još i siderit. U manjoj meri prate ih ilmenit, rutil, leukoksen i pirit, koji obično nastupa u strukturama »orudnjenih bakterija«.

Ležišta Fe-hloritskih škriljaca i peščara

Ovom tipu pripadaju ležišta i pojave kod sela Izbišta, Sapotnice, Novog sela i mnoge druge koje smo samo delimično ispitivali. Često se ne radi o pravim škriljcima, već peskovitim (Sapotnica), ili čak Fe-hloritskim peščarima (Izbišta), gde hlorit znatnim delom služi kao cementni materijal. Takođe postoje (čak i u jednom istom ležištu) prelazi od hloritskih škriljaca preko peskovitih ka peščarima. Što se tiče pratećih minerala, oni su isti kao i u gore opisanom tipu.

Oba navedena tipa pretežno se jasno razlikuju i prostorno su izdvojeni. U stratigrafskom stubu takođe postoje njihova smenjivanja, kao što

je to na primer slučaj sa lokalnošću Babin srt (A. Antonović, R. Popović), gde unutar hloritskog škriljca leži sloj oolitne rude moćan 2—5 m, koja je takođe izgrađena iz Fe-hlorita. U ležištu Demir Hisar i kod Novog Sela (R. Popović, V. Vujanović, A. Antonović) iznad sloja sa oolitskom rudom leži sloj sa peskovitim škriljcima. S druge strane nađe se po koji oolit i u hloritskim škriljcima, mada retko. Zbog toga smo mišljenja da bi u daljem raščlanjavanju trebalo vršiti podelu prema dominirajućim strukturama, bar u sadašnjoj fazi kada nemamo još dovoljno podataka za određenija tipiziranja.

Hematitsko-hloritska ležišta

Mi smo dosada ispitivali samo nekoliko pojava ovog tipa i to one u lokalnostima Osoje, Izvori i Crnec, dakle u okolini s. Kuratice. Ovde se radi o peskovitim sedimentima i alevrolitičkim škriljcima, gde pored Fe-hlorita nastupa i hematit. U prve dve lokalnosti sadržaj hematita je čak znatan. Postoji, međutim, mogućnost da je ovaj mineral nastao direktno iz hlorita u određenoj fazi metamorfizma, ali zasada nema dokaza u navedenom smislu, zbog čega je ovaj tip izdvojen posebno.

Ležišta hematita

Postoji više ležišta u kojima je hematit jedina ruda gvožđa. Mi smo ispitivali samo pojave na Maloj planini (Kuratica) i kod sela Midinci (Kičevo). U prvom slučaju radi se o metamorfisanim kvarcnim peščarima, gde hematit delom služi kao cement, a delom se tako koncentriše da stvara hematitski škriljac. U lokalnosti Midinci hematit se javlja u kvarcitima koji leže uslojeni u sericitskim škriljcima. Nikakvi tragovi Fe-hlorita niti oolitskih struktura nisu dosada otkriveni u ovim ležištima.

Hematitsko-manganska ležišta

Tipičan predstavnik ovog tipa je rudnik Cer (Kičevo), gde kao glavni minerali nastupaju hematit ,romanešit i braunit. Ruda se javlja na kontaktu mermera i peščara, kao i u samom mermeru. Verovatno je prvobitno ovde bio stvoren limonit, koji je u toku metamorfizma pretvoren u hematit. Mišljenja smo, međutim, da ležišta iz ove grupe treba priključiti grupi manganskih ležišta, jer je u njima ekonomski prvenstveno interesantan mangan.

Ležišta hidroksida gvožđa

Ovaj tip je posebno izdvojen, mada je limonit uvek sekundaran produkt, što će reći da se radi o gvozdenim šeširima u kojima dominiraju limonit i getit, dok ih u manjoj ili većoj meri prati hidrohematit. Međutim ovi šeširi nastupaju unutar određenih primarnih ležišta, a u nekim

slučajevima (Sapotnica, Izbište) tek limonitizacijom ova ležišta postaju ekonomski interesantna. Zapravo se radi o niskoprocentnim ležištima Fe-hloritskih škriljaca i peščara, kod kojih usled naknadne limonitizacije dolazi do koncentracije gvožđa.

POSTGENETSKE PROMENE

Sve postgenetske promene u opisanim ležištima možemo podeliti u tri grupe i to:

1. Promene nastale pod uticajem »klasičnog« metamorfizma
2. Promene izazvane procesima regeneracije i
3. Descedentne promene

Promene izazvane pod uticajem »klasičnog« metamorfizma

Ovde podrazumevamo sve one promene koje su usled povišenog pritiska i temperature dovele do slabije ili jače prekristalizacije primarnih minerala, usled čega su neka ležišta delimično »prekovana«, ali pri čemu nije dolazilo do jače mobilizacije primarnog materijala i njegovog ponovnog deponovanja. Može se reći da su skoro sva ispitivana ležišta slabije ili jače metamorfisana, bez obzira o kom se tipu radi. Ređe se mogu sresti slučajevi gde je ruda ostala »konzervirana«, kao što je to slučaj sa nekim delovima ležišta Babin srt, gde su ne samo prvobitna oolitska struktura i finozrna građa, nego čak i gel prsline delom ostale očuvane, kao da se radi o nekom recentnom ležištu.

Najveće promene otkrivene su u ležištima Tajmište i Demir Hisar, gde je usled metamorfizma, između ostalog, došlo do stvaranja znatne količine magnetita, koji dobrim delom zamenjuje osnovnu hloritsku i oolitsku masu. Delom se ovde stvara i hematit, ali je sigurno da je bar jedan deo istog nastao direktno iz magnetita. U ostalim ispitivanim ležištima magnetitizacija opisanog tipa slabo je izražena ili sasvim odsustvuje.

Takođe se može pretpostaviti da su današnje hematitske rude u Ceru i Midinicima proizvod metamorfizma, odnosno da je u ovim i sličnim slučajevima primarni mineral bio hidroksid gvožđa.

Regeneracioni procesi

Pod regeneracione procese podrazumevamo sve one promene koje nastaju u uslovima povišene temperature i pritiska, a koje prati cirkulacija toplih voda, hidrotermalnih rastvora ili para, bez obzira na njihovo poreklo. Logično je da ovaj termin podrazumeva slabije ili jače rastvaranje primarnog materijala, odnosno njegovu mobilizaciju i ponovno deponovanje unutar postojećih ležišta i njihovoj okolini. U konkretnom slučaju, prema dosadašnjim ispitivanjima, regeneracioni procesi su se uglavnom odvijali unutar već postojećih ležišta, zbog čega je i ispitivanje bilo znatno olakšano.

Naša ispitivanja pokazala su da ni jedno ležište nije bilo pošteđeno ovih procesa, tj. da je u svima dolazilo do slabije ili jače regeneracije primarnih ruda. Pri tom se, kako smo već rekli, ne radi samo o prekristali-

zaciji i delimičnoj dehidrataciji primarnih minerala, već i oživljavanju i ponovnom deponovanju oživljenog materijala unutar primarnih rudnih tela. Novostvoreni minerali se pri tom deponuju u sistemu prslina i pukotina, zatim u šupljinama i praznim prostorima, a u mnogim slučajevima su izvanredno dobro izražena i metasomatska zamenjivanja. Regenerisani minerali su znatno krupnozrniji od primarnih, ne pokazuju gel strukture i teže ka idiomorfnom obliku. Između njih, kao i u odnosu na primarne minerale, jasno su izražene strukture potiskivanja, kojih kod primarnih minerala inače nema. Zbog svega ovog birefleksija, i anizotropija kod minerala koji ove osobine poseduju dobro su izražene, što kod primarnih minerala obično nije slučaj zbog finozrne građe.

U ležištima Cer, Mala planina, Midinci i dr. gde je Fe-ruda predstavljena hematitom, uglavnom se opet stvara ovaj mineral, dok u Fe-hloritskim ležištima Fe-hloriti. U oolitskim ležištima gvožđa, gde pored minerala iz grupe Fe-hlorita nastupaju još siderit i magnetit, u toku regeneracije dolazi do izlučivanja sva tri minerala. Reč je, dakle, o tipičnom »preslikavanju« primarnih minerala, odnosno njihovih parageneza.

U celini uzev, učešće regenerisanog hematita u hematitskim ležištima nije osobito veliko, mada ima delova rudnih tela gde ovaj preovlađuje. Ni Fe-hloritska ležišta, uopšte uzev, nisu doživela intenzivnu regeneraciju. Što se tiče oolitskih ležišta, ovde je sasvim drugi slučaj. Tako je u ležištima Tajmište i Demir Hisar došlo do snažne regeneracije, pri čemu se izlučivala velika količina regenerisanog Fe-hlorita, siderita i magnetita, što je dovelo do znatnog brisanja primarnih oolitskih struktura. Ako se pri tom posmatraju jače regenerisani delovi opisanih ležišta, dobija se utisak da se radi o običnim termalnim paragenezama koje nemaju genetske veze sa stratigrafskim horizontima u kojima se nalaze. Ovaj utisak se pojačava i zbog znatnog sadržaja termalnog pirita koji se udružuje sa termalnim mineralima i koji je manjim delom takođe regenerisan, a većim juvenilan. S druge strane u lokalnostima Novo Selo (bušotine), Babin srt, Bolno i Orlov kamen usled regeneracije dolazi do jačeg obogaćenja u sideritu i Fe-hloritu, dok se magnetit sasvim povlači. Ovo se objašnjava odsustvom primarnog i metamorfnog magnetita u opisanim ležištima, zbog čega u toku regeneracije nije dolazilo do njegovog »preslikavanja«. To naravno ne znači da on sasvim odsustvuje u navedenim ležištima, naročito s obzirom na činjenicu da su naša ispitivanja bila delimična i da su bila u strogoj zavisnosti od intenziteta istraga koje se danas izvode na ovim ležištima. Što se tiče termalnog pirita, ovaj je zapažen i u ležištima Fe-hloritskih škriljaca i peščara (Sapotnica, Izbišta) i to u veoma visokim koncentracijama, tako da je on u nekim slučajevima dominirao, ali je u međuvremenu uglavnom pretvoren u limonit, getit i hidrohematit. Kako ćemo docnije videti, pirit je ovde najvećim delom juvenilnog karaktera.

U toku regeneracije dolazi do delimičnog oživljavanja i drugog primarnog materijala usled čega se u manjoj meri stvaraju regenerisani ilmenit, grafit, delafosit, a takođe je zapažen i prinos sulfida i to halkopirita, bornita, pirhotina, valerita i dr. pored navedenog pirita.

Interesantno je, najzad, naglasiti da regenerisani siderit nastupa u značajnim količinama čak i tamo gde primarni siderit nije otkriven. Takav je, na primer, slučaj sa ležištima Bolno, Babin srt i još nekim pojavama.

Descedentne promene

U hematitskim ležištima descedentne promene su sasvim slabo izražene iz razloga što je hematit veoma otporan na dejstvo descedentnih voda. Manji sadržaji limonita u ovim ležištima posledica su raspadanja drugih minerala koji sadrže gvožđe, a pojave hidrohematita su proizvod delimične dehidratacije limonita.

U oolitskim kao i u ležištima Fe-hloritskih škriljaca i peščara descedentne promene su često jako izražene, tako da su u više slučajeva konstatovani »gvozdeni šeširi«. One su naročito dobro izražene u Sapotnici, i Izbištima gde je prethodno došlo do snažne piritizacije, pri čemu je skoro sav pirit docnije limonitisan. No prilikom descedentnih procesa ne dolazi samo do raspadanja pirita, već u znatnoj meri i siderita. Tako u svim ležištima gde je prisutan siderit, ovaj je delom potpuno pretvoren u limonit i getit. Pri oba procesa limonit preuzima spoljne oblike svojih prethodnika, što će reći da se najčešće javlja u vidu pseudomorfoza. Zbog toga je i pri skoro potpunom uništenju napadnutih minerala moguće na osnovu oblika zrna i »kristala« limonita naslutiti iz kog je minerala nastao. To najčešće nije slučaj kada se radi o raspadanjima Fe-hlorita, pošto limonit nastaje iz njih u vidu fine »prašine« koja u toku daljeg procesa postaje sve gušća, dok postupno ne pređe u finozrne plaže, koje ne daju nikakve podatke o prvobitnom mineralu. Izuzetak je kada se limonit stvara duž pravaca cepljivosti kod hlorita, odnosno paralelno folijaciji Fe-hloritskog škriljca, u kom slučaju limonit zadobija trakastu odnosno »škriljavu« teksturu.

Kako se iz navedenog vidi, gvozdeni šeširi koje smo opisali su proizvod raspadanja većeg broja minerala i to pirita, siderita i minerala iz grupe Fe-hlorita.

ZAKLJUČAK

Primarna ležišta gvožđa u zapadnoj Makedoniji, a koja su stvarana sedimentnim i vulkansko-sedimentnim putem, bila su vrlo jednostavna u pogledu na mineraloški sastav i strukturu minerala, pri čemu se delom radilo o monomineralnim ležištima. Tako možemo da kažemo da su se kao primarna stvarala tri tipa (ne računajući Fe-Mn-ležišta) i to:

a) Ležišta hematita (limonita?)

b) Ležišta Fe-hlorita i

c) Ležišta Fe-hlorita i siderita

Ovaj zaključak je vrlo sličan zaključku do koga je svojevremeno došao i A. Cissarz (1, 2).

Primarna ležišta su posle stvaranja bila izložena postgenetskim procesima i to metamorfnim, regeneracionim i descedentnim. Usled metamorfizma dolazi do dehidratacije limonita i do stvaranja hematita, odnosno do magnetitizacije Fe-hlorita. Pojava hematita u nekim metamorfisanim ležištima kao što je to na primer slučaj sa Tajmištem, delom se objašnjava metamorfizmom, a delom martitizacijom magnetita. Takođe se može pretpostaviti da je hematit iz hematitsko-Fe-hloritskih ležišta delom metamorfnog porekla.

Iza ovih događaja sleduje regeneracija u punom smislu te reči u toku koje se vrši delimično oživljavanje primarnih ležišta uz stvaranje čitavog niza regenerisanih minerala u nekim slučajevima, kao što su magnetit, hematit, Fe-hloriti, siderit i pirit, koji se nekad javljaju u većim količinama i dovode do kompleksnog sastava opisanih ležišta. Paralelno sa ovim imamo i juvenilni prinos pirita kao i neznatnih količina drugih sulfida. Najzad dolazi do descedentne akcije i do izlučivanja manje ili veće količine limonita, getita i hidrohematita, što još više komplikuje mineraloško sliku.

Tako nastaju »kompleksna ležišta gvožđa« u zapadnoj Makedoniji, i to kao posledica kompleksnih događaja koji su usledili posle stvaranja navedenih ležišta.

U osvrtu na ranije rezultate ispitivanja, koji su inače veoma dragoceni i koji su predstavljali osnovu za sva kasnija pa i naša ispitivanja, autori su izvršili izvesne dopune koje bi ovde samo ukratko izneli:

Na osnovu pristupačne literature proizilazi da su ranijim ispitivanjima bila obuhvaćena samo ležišta Fe-silikata, koja su delimično i mikroskopski ispitana. Ovog puta su izostala ispitivanja nekih već ranije ispitanih ležišta, ali su zato proučavani neki drugi tipovi, a to su hematitska, hematitsko-hloritska, mangansko-hematitska i limonitska ležišta. Na taj način su obuhvaćeni skoro svi tipovi sedimentnih ležišta gvožđa u zapadnoj Makedoniji.

U odnosu na ležišta Fe-silikata autori ovog članka nisu prihvatili staru klasifikaciju kojom su i ležišta Fe-silikatnih škriljaca i Fe-silikata stavljeni u istu grupu, jer se ova razlikuju i po strukturi i okolnoj steni, pa samim tim i po položaju u stratigrafskom horizontu. Pored navedenog, karakteristično je i to da prema dosadašnjim ispitivanjima Fe-silikatni škriljci i peščari uglavnom ne sadrže magnetitsku rudu i regenerisani siderit, a što je karakteristično sa oolitske, tj. Fe-silikatne rude gvožđa u opisanoj oblasti.

Autori takođe ne prihvataju gledište da je stvaranje magnetita i siderita započeto još u fazi dijageneze, jer bi isto trebali očekivati i u ležištima Fe-hloritskih škriljaca i peščara, što međutim nije slučaj. Magnetit se stvarao u toku dve vrste procesa i to pre svega u toku metamorfizma u klasičnom smislu (ispadanje Fe iz Fe-silikata), a zatim u toku regeneracije. Pri tom je regenerisani magnetit u direktnoj genetskoj zavisnosti od metamorfnog magnetita, što znači da je on uglavnom nastao preslikavanjem već postojećeg magnetita. Jer, činjenica je da tamo gde nema metamorfnog odsustvuje i regenerisani magnetit.

Na osnovu ovakvih shvatanja autori odbacuju i pretpostavku o obaveznom prinosu CO_3 u toku stvaranja siderita (sideritizacija) smatrajući da je siderit nastao u toku regeneracije ležišta i to uglavnom »preslikavanjem« već postojećeg siderita, bilo da se primarni siderit nalazio u samom ležištu koje je podvrgnuto regeneraciji, ili u nekom dubljem nivou danas nepristupačnom posmatračevom oku. Stvaranje mešovitih karbonata i kalcita u završnoj fazi regeneracije objašnjava se prema tome znatnim prinosom rastvorenog kalcium karbonata u toku završne akcije sideritizacije ležišta, usled čega su rastvori nosili obe vrste karbonata, što je i omogućilo stvaranje mešovitih karbonata pored siderita i kalcita.

Autori dalje smatraju da se ne može povući oštra granica između faze koja je dovela do stvaranja metasomatskog i one koja je dala pukotinski siderit, pošto i ovaj poslednji velikim delom prelazi u metasomatski, što se lepo može videti u jednom istom preparatu. Postoje doista bar dve faze sideritizacije, ali se one ne mogu identifikovati samo na osnovu načina izlučivanja siderita.

Autori su takođe došli do zaključka da piritizacija nije isključivo posledica prekristalizacije finodispergovanog FeS-gela, već najvećim delom posledica juvenilnog prinosa pirita i uopšte sumpora, usled prodora mlađih juvenilnih rastvora. Da je to tačno svedoči i činjenica da je piritizacija zahvatila kako oolitska tako i ležišta Fe-silikata u peščarima i škriljcima, pa čak i pojedine horizonte običnih škriljaca, što se ne bi moglo ni zamisliti bez znatnog prinosa sumpora. U toku juvenilne piritizacije dolazilo je svakako i do regeneracije jednog dela piritskog gela, ali je ovaj proces u odnosu na navedenu piritizaciju od sporednog značaja. Uostalom, pirit nije jedini mineral koga su juvenilni rastvori doneli, već postoje čitave, mada uglavnom oskudne, sulfidne parageneze u nekim od opisanih ležišta, koje su posledica metalonosnosti rastvora uzročnika opisanih regeneracionih procesa. Tu pre svega dolazi halkopirit, zatim pirhotin, sfalerit, kubanit, valerit i dr. Paralelno sa ovim prinosom, kako smo već naveli, vrši se i regeneracija ležišta, odnosno »preslikavanje« primarnih parageneza. Tamo gde su primarni minerali isključivo Fe-silikati u toku regeneracije stvaraju se opet samo Fe-silikati, dok u slučajevima gde je pre regeneracije postojao veći broj minerala, u toku iste vrši se kompletno »preslikavanje«, tj. stvaranje regenerisanog magnetita, Fe-hlorita, hematita, siderita, ilmenita, rutila, grafita i dr. Samim tim regenerisane parageneze ukazuju na minerale iz kojih su se stvarale i predstavljaju indikatore za otkrivanje primarnih i manje-više metamorfisanih ležišta.

Mi zapravo hoćemo da kažemo da regenerisani materijal po pravilu mora davati podatke o tome da li je ležište iz koga se stvarao oolitskog tipa ili se radi o Fe-silikatnim škriljcima, hematitskim ili hematitsko-manganskim ležištima.

Iz svega ovog proizilazi zaključak da su regenerisani i juvenilni minerali koji su prinešeni u toku regeneracije stvarani u uslovima pneumatolitsko-hidrotermalnih i hidrotermalnih zbivanja, tj. da se juvenilni i oživljeni materijal deponovao prema zakonima koji važe za juvenilne tvorevine odgovarajućeg tipa. Na taj način stvarale su se kombinovane parageneze koje smo gore opisali.

Što se tiče uzročnika regeneracije, autori nisu skloni da pridaju veću važnost procesima metamorfizma u smislu »oživljavanja« primarnih ležišta. Ne bar za klasične slučajeve regeneracije, tj. slučajeve gde se radi o sistemu prslina i metasomatskim zamenjivanjima. Utoliko manje što u blizini skoro svih ispitivanih ležišta postoje eruptivi i što u neposrednoj blizini ili unutar samih ležišta postoje mlađe pegmatitske, kvarcno-feldspatske i kvarcne žice koje govore o mlađim magmatskim događajima i o cirkulaciji hidrotermalnih rastvora (i para) u njima.

Prema tome, po našem mišljenju, regeneracija ležišta gvožđa zapadne Makedonije treba da je najvećim delom posledica prodora mlađih mag-

matskih stena i hidrotermalnih rastvora u područja postojećih ležišta gvožđa.

I na kraju, da se još jednom osvrnemo na limonitska ležišta u zapadnoj Makedoniji i da ponovo konstatujemo da su ona sekundarnog karaktera te da predstavljaju gvozdene šešire prvobitnih ležišta gvožđa. Od ovoga svakako treba izuzeti gvozdene šešire prvobitno olovo-cinkovih pojava kao što su onaj kod sela Kolara i neki drugi.

Situacija sa limonitizacijom u Fe-ležištima danas je već sasvim jasna, pri čemu se, kako smo već rekli, radi o limonitizaciji pirita, siderita i minerala iz grupe Fe-hlorita. Ovi minerali češće zajedno, a ređe pojedinačno, daju glavne količine limonita u opisanim ležištima, pri čemu su piritizacija i sideritizacija u većini ležišta prethodile limonitizaciji, odnosno uslovile je. Samim tim skida se sa dnevnog reda problem uzročnika limonitizacije i uslova u kojima se ona obavila, a takođe i problem raspadanja magnetita i hematita, koji očigledno i ne postoji.

(Predato za štampu novembra 1968. god.)

LITERATURA

1. Cissarz A., 1954: — O petrografiji i genezi silikatnih ruda gvožđa u zapadnoj Makedoniji. — Vesnik Zavoda za geol. i geof. istr. NRS. Beograd.
2. Cissarz A., 1956: — Lagerstätten und Lagerstättenbildung in Jugoslavien. — Rasprave Zavoda za geol. istr. NRS. Beograd.
3. Dolenc M., 1954: — Rudište Demir Hisar sa osvrtom na slična nalazišta u JZ Makedoniji. Manuskript, 1954. god.
4. Jančić T., Popović R., Cvetić S., Vujanović V., 1965: — Izveštaj o geološko-geofizičkim istraživanjima na području Zapadne Makedonije. — Fond str. dok. ZNS. Beograd.
5. Jančić T., Popović R., Cvetić S., 1963: — Izveštaj o geološko-geofizičkim istraživanjima na pojavama ruda gvožđa u oblasti Kičeva i Gostivara. — Fond str. dok. ZNS. Beograd.
6. Nöth L., 1954: — Die Eisenerzlagerstätten Jugoslaviens. — Symp. de Fer Int. Geol. Cong. Algier.
7. Nöth L., 1954: — Ueber den heutigen Stand unserer Kenntinis der Eisenlagerstätten Jugoslaviens. — Geol. Kongres, Bled.
8. Novakovski T., Ivanovski Z., 1963: — Konečni godišen izveštaj za izvršenite raboti i postignatite rezultati vo 1963 g. vo lokalnost Kuratica — Mala planina. — Fond str. dok. rudnika »Stogovo«.
9. Novakovski T., Ivanovski Z., 1963: — Konečni godišen izveštaj za izvršenite raboti i postignatite rezultati vo 1963. g. vo lokalnost Kuratica-Kalipadinje. — Fond str. dok. rud. »Stogovo«.
10. Ramdohr P., 1960: — Die Erzmineralien. — Akad. Verlag. Berlin.
11. Schneiderhöhn H., 1952: — Genetische Gliederung auf geotektonische Grundlage. — Stuttgart.
12. Vujanović V., 1962: — Mineralogija sedimentnih manganskih ležišta Jugoslavije. Disertacija, objavljena 1968. god.
13. Vujanović V., Popović R., 1965: — Pojava regeneracije u ležištu gvožđa kod sela Midinci. — Zapisnici Srp. geol. dr. Beograd.

Summary

V. VUJANOVIĆ[1]
S. CVETIĆ[1]

REGENERATIONS AND OTHER POSTGENETIC PROCESSES IN FE-DEPOSITS OF WESTERN MACEDONIA*

In the present paper sedimentary iron deposits of western Macedonia have been dealt with their mineralogical composition, genesis, and post-genetic alterations (metamorphism, regeneration, descedent processes). The majority of the ore deposits from the stated area have been investigated by Cissarz, mainly including iron silicates deposits, whereas the authors of this paper have carried out the examination of the other types as well. On the basis of the preceeding and their own investigations the authors have made the folloving classification of the present iron deposits:

1. Oolitic iron deposits (silicate deposits)
2. Fe-choloritic schists and sandstones deposits
3. Hematitic Fe-chloritic deposits
4. Hematitic deposits
5. Hematitic-manganese deposits.

The first type includes deposits of Tajmište, Demir hisar, Bolno, Babin Srt, Orlov kamen etc., where the oolites and cemented mass are composed of the various types of Fe-chlorites and siderite accompained by small amount of pyrite.

The occurrences belonging to the second type of the ore deposits are rather numerous, but only the localities of Izbište, Sapotnica and Novo selo with the exclusive Fe-silicates (Fe-chlorites) and the complete absence of the oolitic structures, have been concerned herein.

The difference between the both mentioned types is discernible both spatially and throught out the stratigraphical column, so that the existence of the vertical replacement has been also determined. Within the third category hematitic-Fe-chloritic deposits, belonging to the localities of Osoje, Izvori and Crnec have been examined as well. The stated minerals occur in sandstones and in silitic schists. There are certain indications that chlorite, or only a part of it was alternated to hematite during the process of metamorphism.

The fourth category covers the deposits of Mala planina and Midinci areas. The former includes metamorphosed quartz sandstones where hematite has partially obtained the function of a cement, and partially it has been concentrated to form hematitic schists. In the locality Midinci hematite occurs in quartzites, which are unterbedded in the sericite schists. It might be assumed for hematite to be formed in both cases by dehidratation process of the pre-formed iron hydroxide during the process of metamorphism.

---

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

* This Paper has been reported at the geological Congres in Ohrid, 1966.

As the most characteristic ore deposits of the fifth category will be stated Cer (Kičevo) where hematite, romanechite and braunite occur as the main primary minerals at the contact of footwall sandstones and roof-wall marble. Such occurences might be found in the other localities as well, but they have been investigated only partially (Blazina, Baltin etc.).

The stratigraphical column containing the descriebed deposits is not well known, but undoubtedly the oolitic deposits belong to the lowest level followed subsequently by Fe-chloritic schists and sandstones deposits and finally Fe-Mn-deposits. It appears evident that all these deposits were formed before carboniferous assuming the probability of their formations during the Silur-Devonian period.

POSTGENETIC PROCESSES

First of all we are concerned herein with the occurences induced by the classic metamorphism. Due to that certain ore deposits have been partially »reshaped« without stronger mobilization of the primary material and its redeposition. The strongest alterations induced by metamorphism have been observed in the deposits of Tajmište and Demir Hisar together with the formation of the large amounts of magnetit and certain amounts of hematite. It has been also assumed hematite to be the product of the pre-formed iron hydroxides in the stated hematitic-Fe-chloritic ore deposits.

In all investigated ore deposits rather pronounced or not so pronounced solution processes of the primary and metamorphosed ores took place during the process of regeneration, as well as the redeposition of the material inside the existing deposits. Actually the transposition of the existing minerals, or the paragenesis took place.

So in hematite deposits, regenerated hematite was formed, hematite and chlorite in hematitic-chloritic deposits, and in hematitic-manganese ore deposits besids regenerated hematite occur a whole series regenerated manganese minerals.

Regeneration of all present minerals (siderite, magnetite, hematite, Fe-chlorite) took place in oolitic iron deposits, whereas in certain caces sideritization was rather well pronounced. Finally regeneration of Fe-chlorites took place in Fe-chloritic sandstone and schists deposits.

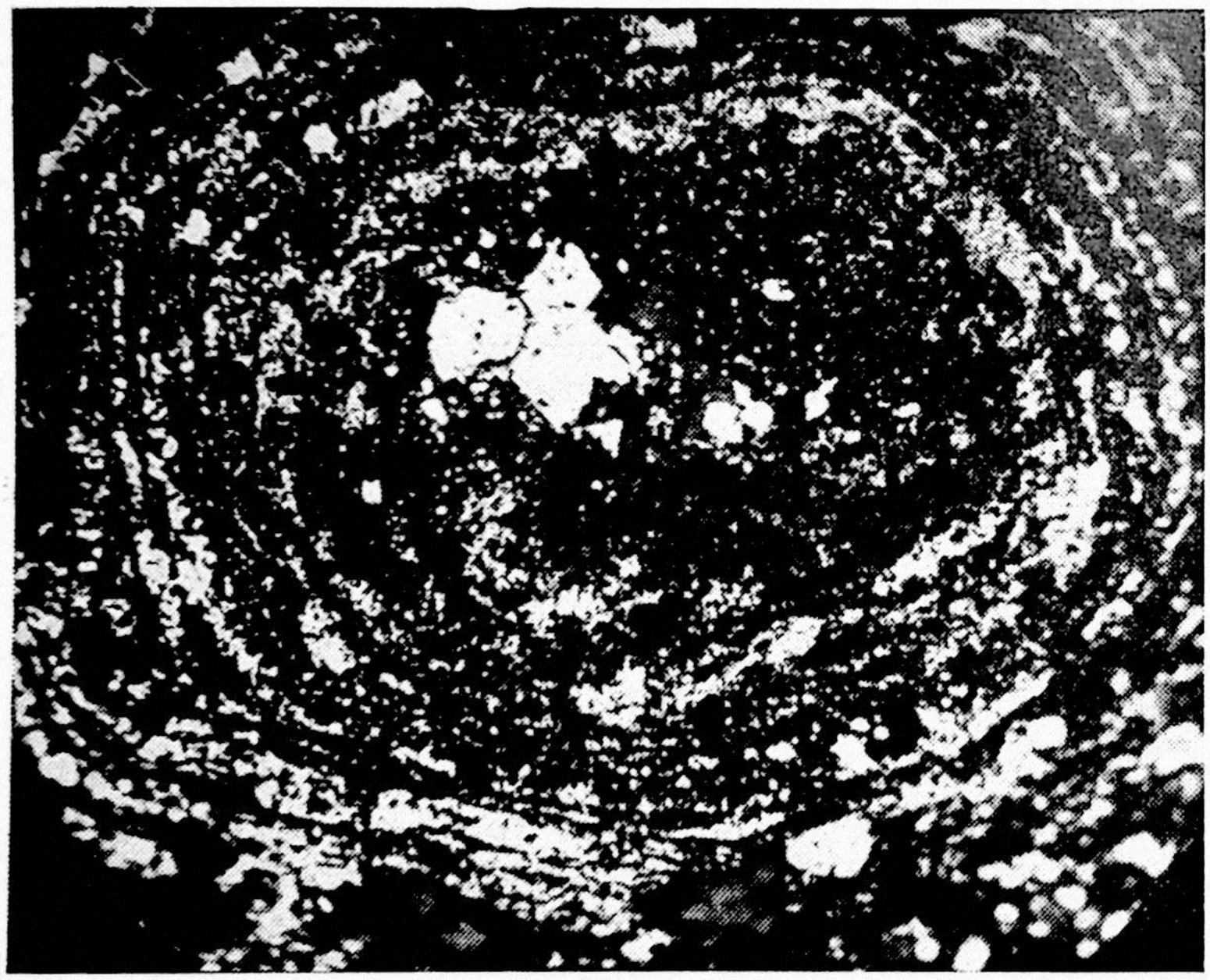
Primary (accesory) titane minerals have been also regenerated sporadically, as well as the primary pyrite, while the organic matter has been converted to graphite.

Together with the process of regeneration rather strong juvenille pyritization took place accompanied by small amounts of sulfides as chalcopyrite, pyrrhotine, valerite, sphalerite etc. This process has been also accompanied by the formation of delafossite.

The stated evidence clearly points to the »transposition« of the already existing minerals occuring as a rule during the process of regeneration,

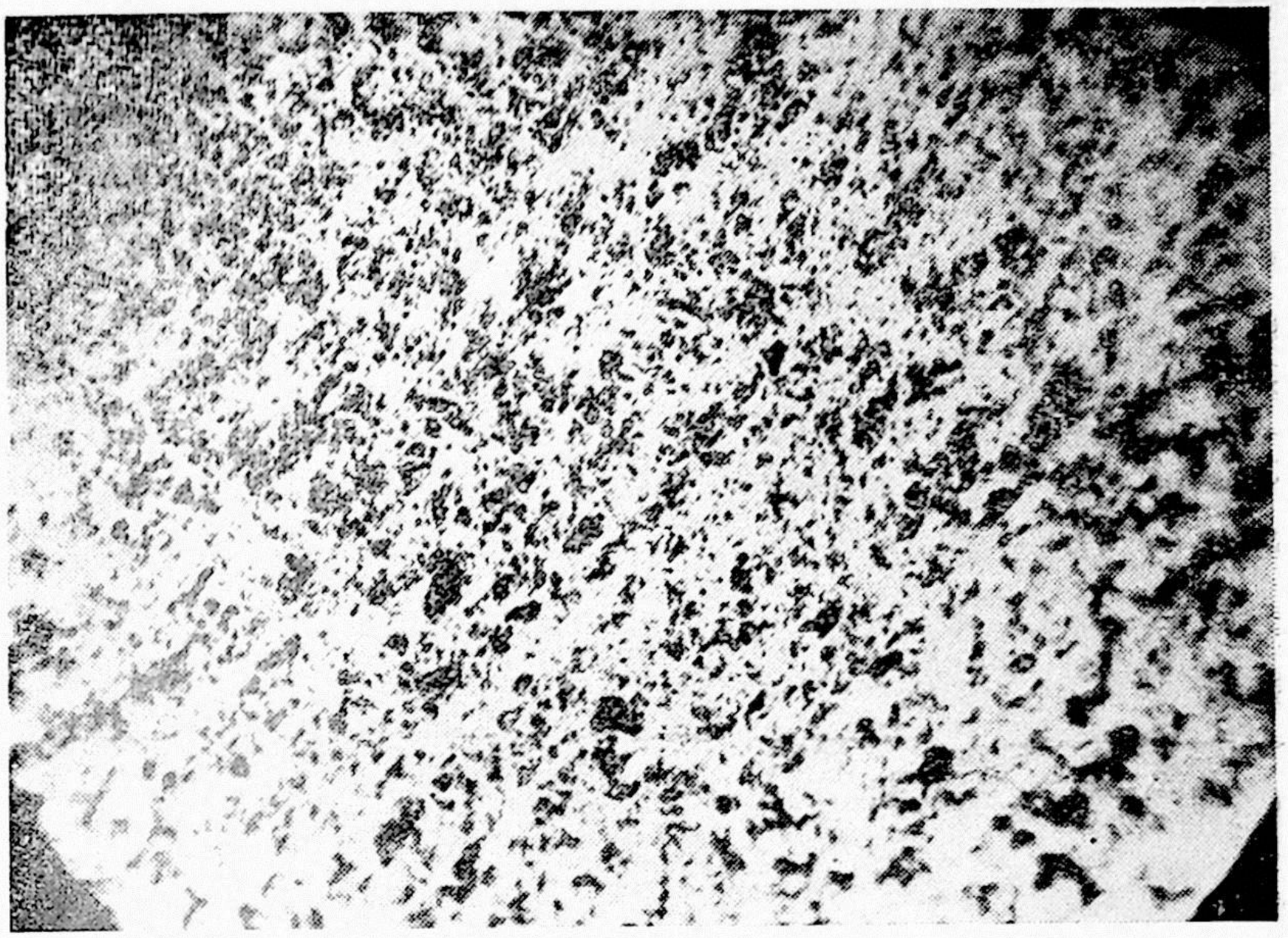
while the new minerals may be considered as the result of juvenille introduction, i.e. the combined action of the solutions by which the regeneration delafossite was induced. The process of regeneration has been carried juvenille solutions and vapors out by the connected with plutonic granitoide rocks which occur in the area of the investigated ore deposits and accompanied by numerous quartz, quartz-feldspars and even pegmatite veins.

During the descendent action the strong limonitization of juvenille pyrite, Fe-chlorite and siderite took place inducing the formation of numerous gossans which in certain cercumstances introduce the strong enrichment in iron.



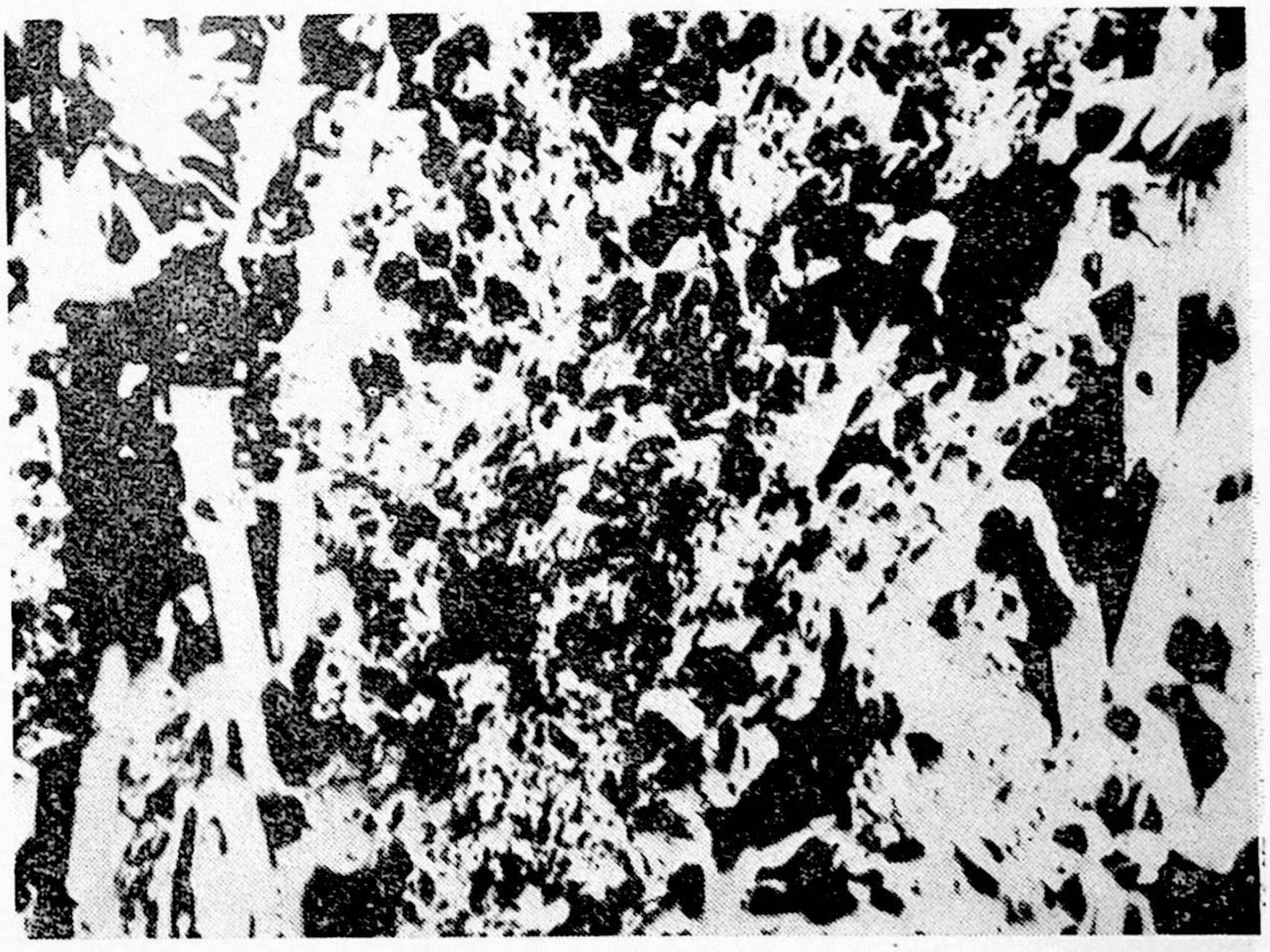
Sl. 1. — Demir Hisar, V. etaž. Oolit sa magnetitom (sivobeo), koji je koncentrično raspoređen. U centru slike: regenerisani magnetit, Fe-hlorit i siderit. Uvećano 154 ×

Fig. 1. — Oolite, with magnetite (gray white). Central part: regenerated magnetite, Fe-chlorite and siderite. × 154



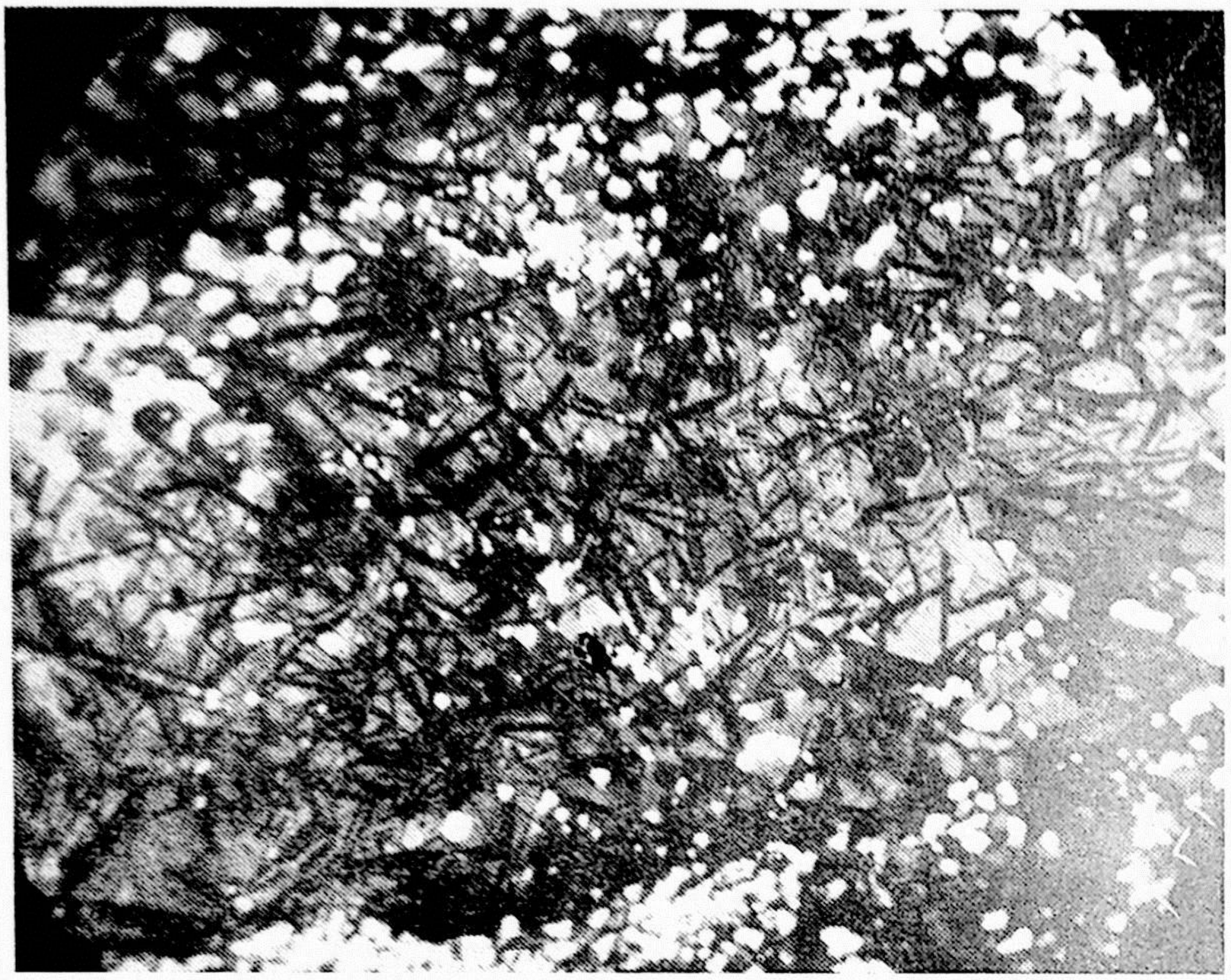
Sl. 2. — Midinci. Primarni hematit (sivobeo), intimno izmešan sa kvarcom. Uvećano 180 ×

Fig. 2. — Primary hematite (gray white) with quartz. × 180



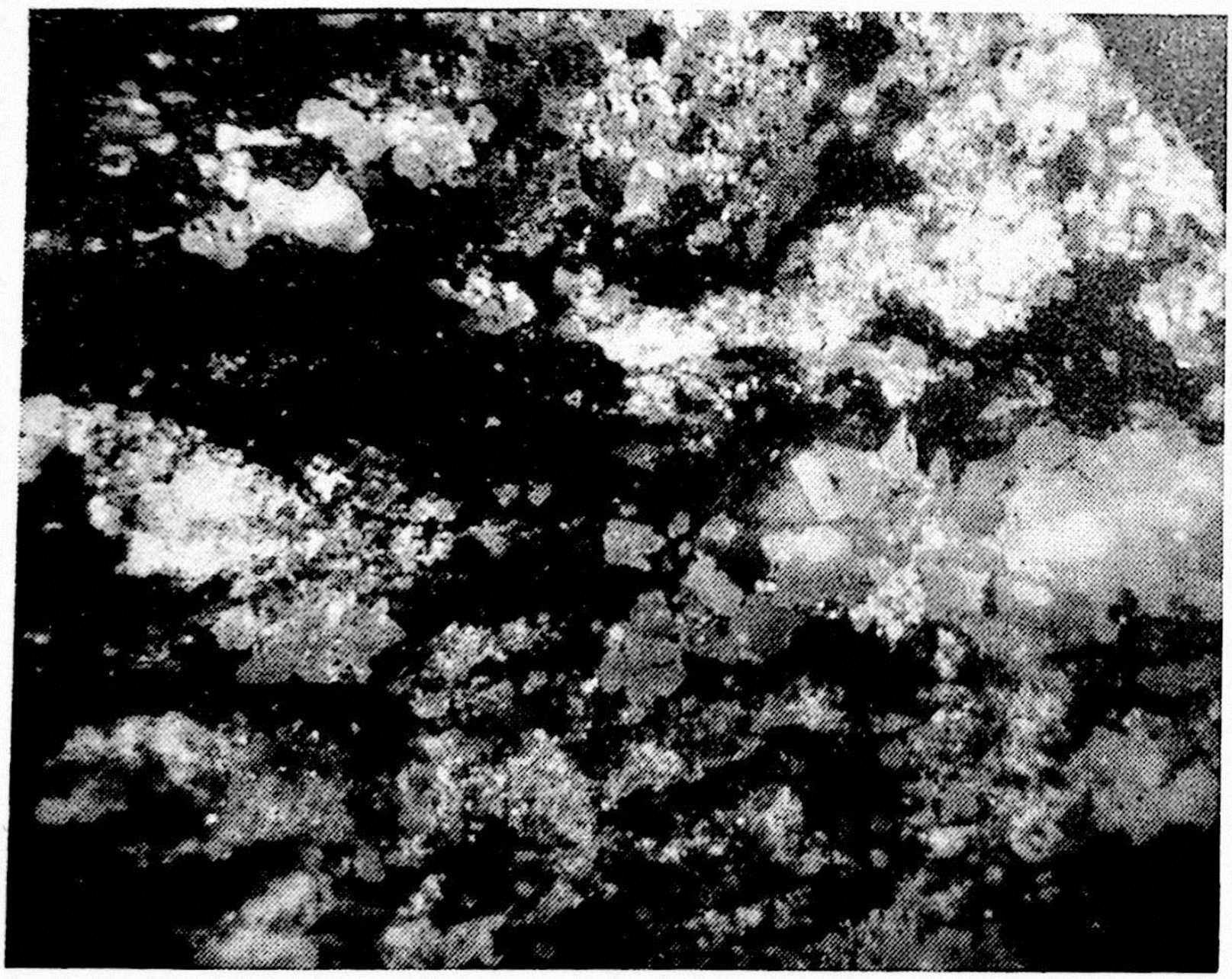
Sl. 3. — Midinci. U centru slike, manje-više očuvani primarni hematit. Levo i desno regenerisani hematit (ljuspice) i kvarc (crn). Uvećano 180 ×

Fig. 3. — Central part: primary hematite. Left and right: regenerated hematite and hydrothermale quartz. × 180



Sl. 4. — Novo Selo, bušotina. U osnovnoj masi regenerisani siderit (siv) koji uklapa brojne ljuspice regenerisanog Fe-hlorita (sivocrn). Sivobelo: regenerisani magnetiti. Uvećano 154 ×

Fig. 4. — Regenerated Fe-chlorite (black), replaced and cemented by regenerated siderite (gray). White: regenerated magnetite. × 154



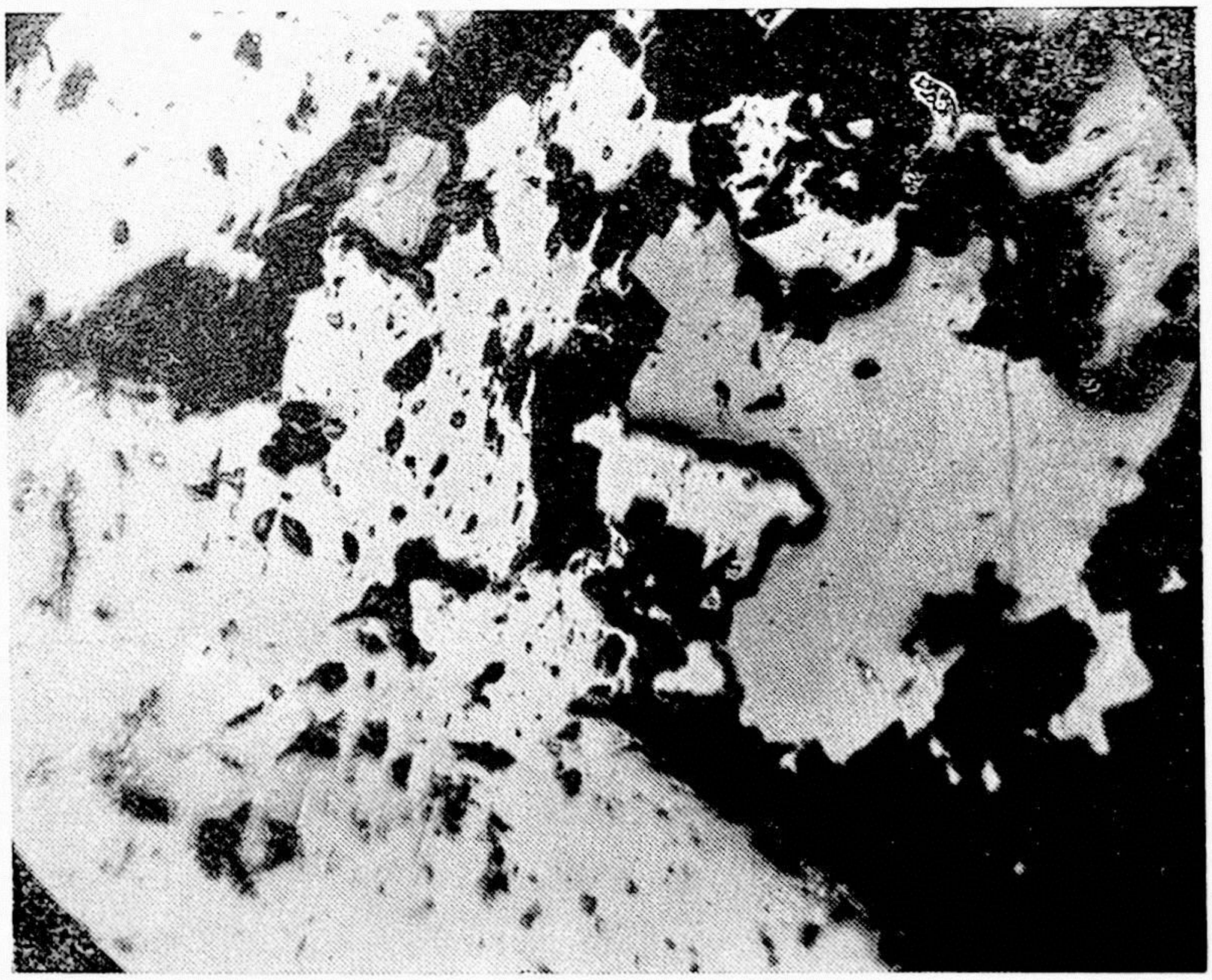
Sl. 5. — Novo Selo, bušotina. Fe-hloritski škriljac (sivocrn) potisnut regenerisanim sideritom (uglavnom svetlosiv, delom kristalan). Uvećano 154 ×

Fig. 5. — Fe-chloritoschist, (gray black), replaced by regenerated siderite. × 154



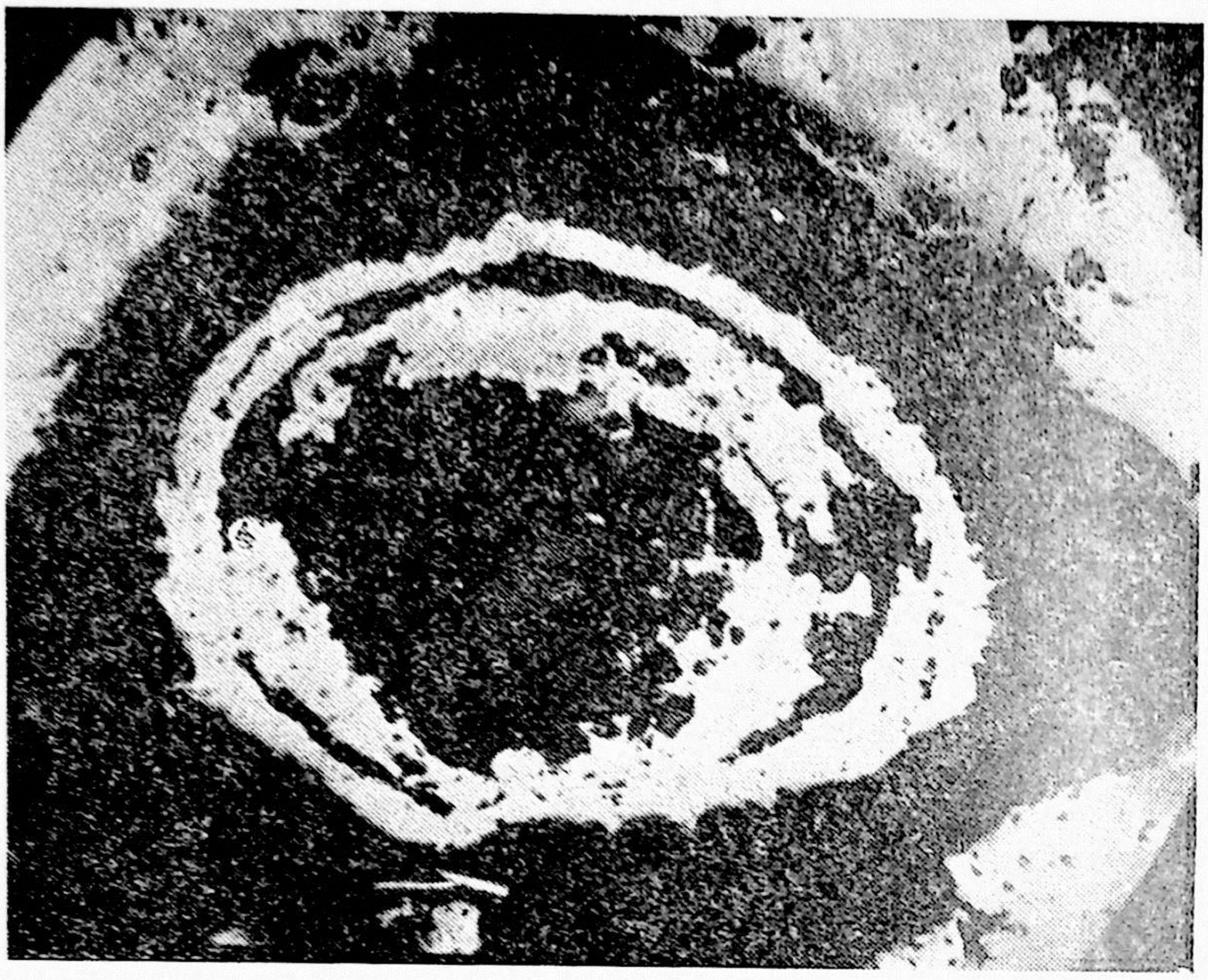
Sl. 6. — Demir Hisar. Pirit (beo) potiskuje regenerisani Fe-hlorit (crne ljuspice). Uvećano 154 ×

Fig. 6. — Regenerated Fe-chlorite (black) replaced and cemented by pyrite. × 154



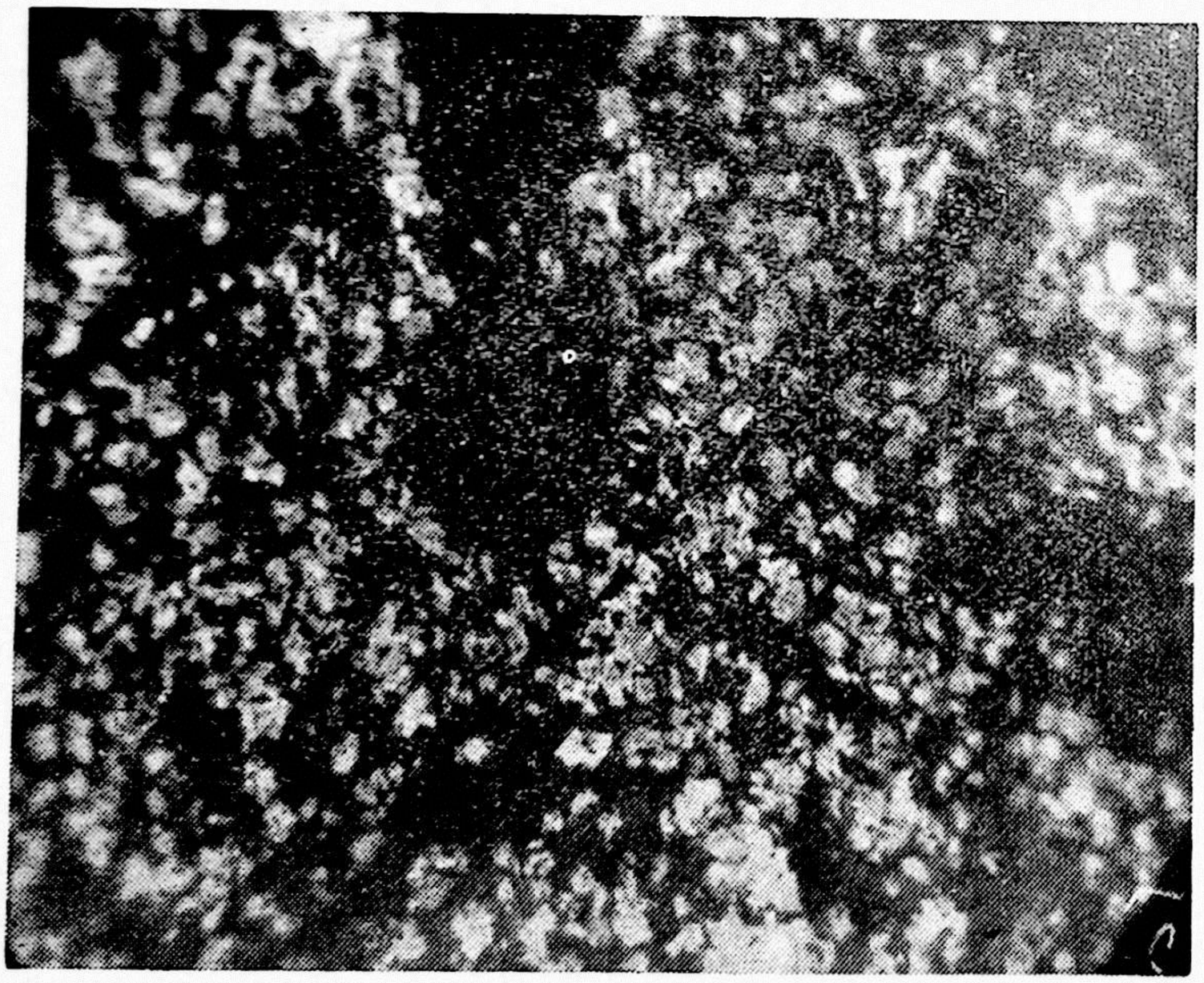
Sl. 7. — Demir Hisar, V. etaž. Pirit, potisnut halkopiritom. Crno: kvarc. Uvećano 154 ×

Fig. 7. — Pyrite (light gray), replaced by chalcopyrite (gray). Black: quartz. × 154



Sl. 8. — Orlov kamen. Potiskivanje oolita, descedentnim limonitom, delom dehidratisanim (sivo, do sivobeo). Uvećano 154 ×

Fig. 8. — Oolite, replaced by descendente limonite (gray and gray white). × 154



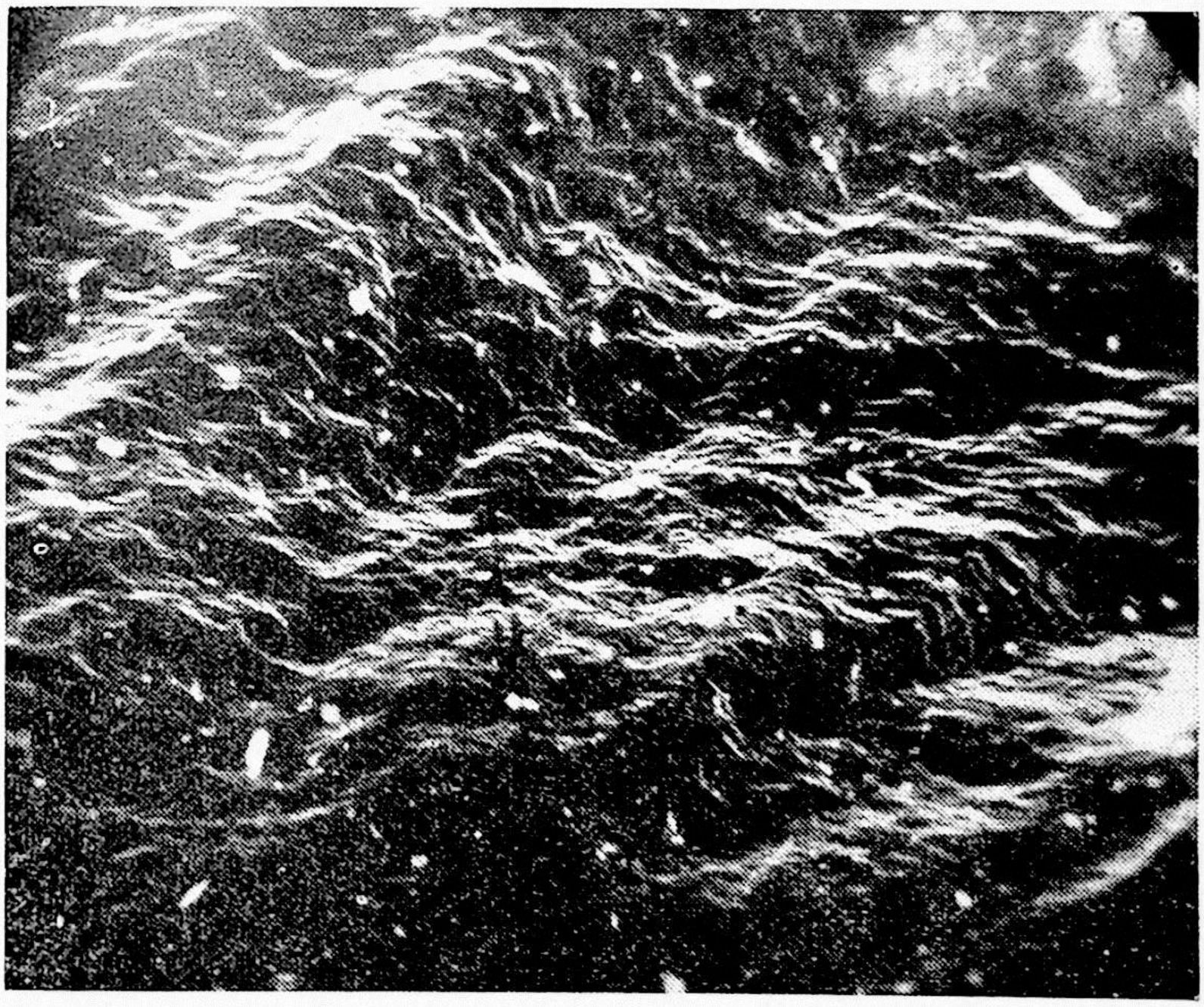
Sl. 9. — Babin srt. Limonit (promenjivo sive boje), koji je nastao iz siderita, zamenjuje primarnu oolitsku Fe-hloritsku rudu. Uvećano 154 ×

Fig. 9. — Limonite (gray) in matrix of the Fe-chlorites. Limonite has been formed by replacing of the regenerated siderite. × 154



Sl. 10. — Izbište. Fe-hloritski škriljac delom zamenjen limonitom (svetlosiv). Belo: ostaci pirita iz kojeg je limonit nastao. Limonitizaciji je prethodila snažna piritizacija. Uvećano 154 ×

Fig. 10. — Fe-chloritoschist, replaced by limonite (gray). Limonite has been formed by the replacing of the hydrothermale pirite. × 154



Sl. 11. — Sapotnica, površina. Potiskivanje Fe-hloritskog škriljca, trakastim limonitom (svetlosiv). Sitna, bela zrna: rutil, koji predstavlja sastavni deo stene. Uvećano 154 ×

Fig. 11. — Fe-chloritoschist replaced by limonite (light gray). Small white grains: rutile. × 154

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

V. VUJANOVIĆ

UDK = 549.6 (497.17)

MIOMIRIT — OLOVNI DAVIDIT IZ NEŽILOVA*

U ovom radu biće reči o daviditu iz lokalnosti Nežilovo, tj. mineralu koji je kod nas nađen samo na jednom mestu (Crni kamen) i koji je, uopšte uzev, redak u svetu. Ispitivani mineral pokazuje nizak sadržaj urana i veoma visok olova, što pored davidita iz Crnog kamena predstavlja jedinstven slučaj u svetu. Pored ostalih ovog puta je vršeno i ispitivanje količine odbijene svetlosti pomoću mikrofotometra, optičkih osobina, merenje mikrotvrdine, kao i korodovanje sa većim brojem reagensa i dr. Na taj način su dobijeni neki novi podaci, koji će budućim istraživačima olakšati odredbu ovog minerala u rudnom mikroskopu. Pored toga, dati su i paragenetski odnosi, kao i geneza opisanog minerala i dokazano je da severni deo Pelagonida stoji u genetskoj vezi sa južnim. Takođe je ovom prilikom utvrđeno da davidit može biti zonarno građen i nađeno je rešenje za otkrivanje ovakvih struktura u rudnom mikroskopu.

OPŠTI PODACI O MINERALU DAVIDITU

Davidit je titanat gvožđa, urana i retkih zemalja. To je redak mineral, a kod nas je nađen na Crnom kamenu, južno od Prilepa (A. D a m j a n o v i ć, M. V u k a s o v i ć, 1961). Mada redak, davidit može da se nađe i u ekonomskim količinama (Radium Hill), u kom slučaju se iz ovog minerala dobija uran.

Mineral je prvi put nađen u južnoj Australiji (Mowson, 1906), a prva hemijska analiza objavljena je od strane C r o o k - a, 1916. godine. Otada je ovaj mineral nađen na nekoliko mesta u svetu i ispitivan od strane više autora. Neki od njih (C r o o k i B l a k e, 1910; S t r u n z, 1957; W h i t t l e, 1959) izražavali su sumnju u postojanje davidita, odnosno smatrali su ga za mešavinu ilmenita, magnetita, rutila i dr. Drugi pak, na osnovu morfoloških i rendgenskih podataka pripisivali su daviditima iz različitih lokalnosti različitu simetriju i strukturu, dajući im razna imena. Tako su B a n i s t e r i H o r n (1950) opisali jedan mineral iz oblasti Tete (Mozambik), koji je sličan daviditu, ali koji kristališe trigonalno i nazvali ga »mineral iz Mozambika«. K a z i c i n (1956) međutim, smatra da je

---

* Saopšteno u Srpskom geološkom društvu na Zboru od 5. VI 1967. godine.

mineral iz Mozambika posebna vrsta, bliska daviditu, i nazvao ga je ferutit. Soboleva i Pudovkina (1961) su ispitivale jedan mineral iz SSSR, sličan daviditu i nazvale ga ufertitom.

Danas su stvari sa daviditom prilično raščišćene i to kako u pogledu fizičkih osobina i hemijskog sastava, tako i u pogledu načina kristalisanja, odnosno strukture. Iz nekih najnovijih radova se takođe vidi da ufertit i ferutit nisu ništa drugo do davidit (A. Damjanović, M. Vukasović, 1961; A. G. Žabin sa saradnicima, 1963) iz čega proizilazi da su Frondel i Fleischer (1958) bili u pravu kada su ferutit tretirali kao davidit. A. G. Žabin, sa saradnicima, takođe je utvrdio da davidit kristališe trigonalno (heksagonalno) i to na osnovu ispitivanja nemetamiktiziranih uzoraka. Isto tako on je dokazao da ovaj mineral ne mora da sadrži uran i to na primeru davidita iz Višnjevih gora (SSSR). Na kraju, navedeni autor po prvi put dokazuje anizotropiju kod davidita.

Prema literaturnim podacima davidit se najčešće udružuje sa mineralima titana i gvožđa, tj. rutilom, ilmenitom, magnetitom, ilmenorutilom i braneritom, zatim betafitom, hematitom, sfenom, a u nekim slučajevima tortveititom, gadolinitom, euksenitom, blomstranditom i dr. Od providnih minerala često ga prati kvarc, zatim albit, turmalin i dr.

Što se tiče njegove geneze, dosadašnja ispitivanja su pokazala da se on javlja u zonama uranovih mineralizacija, odnosno zonama migmatizacije, piroksensko-skapolitskih granulita, u skarnovima, pegmatitima sa turmalinom, u kontaktno-metasomatskim tvorevinama, u žicama granitskih pegmatita, u mikroklinskim, jako albitiziranim žicama i dr., što govori da je on po pravilu visokotemperaturni mineral.

Način pojavljivanja davidita iz Nežilova

Mineral se javlja nedaleko od s. Nežilova (Bogomila) i to s leve strane reke Babune (Nežilovske kolibe), u kvarcnim žicama koje probijaju migmatite. U ovoj oblasti postoje mnogobrojne kvarcne žice, zatim kvarcno-feldspatske i pegmatitske, koje se najčešće utiskuju li-par-li u pomenute migmatite. Takođe su poznate kvarcne žice sa ilmenitom i rutilom, koje su nastale na visokoj temperaturi. Opisani davidit se javlja u kvarcnim žicama zajedno sa hematitom, pri čemu je davidit najstariji, a kvarc najmlađi mineral. Davidit je uklopljen u kvarcu i javlja se u vidu zrna veličine do nekoliko milimetara, odnosno nepotpunih kristala veličine do 0.5 mm. Delom je isprobijan tankim žilicama kvarca, a polomljena zrna davidita su cementovana ovim mineralom. U daviditu se mestimično javljaju sitna zrna jednog minerala koji podseća na sfen.

Optička ispitivanja davidita

Makroskopski mineral je mrke boje, nepravilnog preloma, bez sjaja i liči na rutil. U mikroskopu je sličnost sa rutilom takođe velika. Mineral je sive boje sa mrkastom nijansom i pokazuje slaba variranja u pogledu količine odbijene svetlosti. Po pravilu se radi o mikroprslinicama duž ko-

jih opisani mineral postaje nešto svetliji, što se jasno uočava pri radu sa uljem i što svakako predstavlja posledicu izvesnih promena u hemizmu duž navedenih prslina. Pojedini delovi davidita su izotropni, dok su drugi anizotropni. U ovom drugom slučaju svakako se radi o nemetamiktiziranim partijama. Anizotropija davidita je jasna, a takođe i birefleksija. U oba slučaja promene u boji nisu zapažene. Unutrašnji refleksi su mu žuti, mrkožuti do mrkocrveni i uglavnom su vidljivi tek sa analizatorom. Znatno manje odbija svetlosti od hematita, približno kao rutil.

Merenje količine odbijene svetlosti

Prema postojećoj literaturi dosada je merena količina odbijene svetlosti samo na daviditu iz Crnog kamena (lit. 7) i to pomoću fotomultiplikatora, što nije dovoljno za dobijanje kompletne slike, pa smo izvršili merenje pomoću mikrofotometra, upotrebivši tri filtra u vazduhu i ulju. Rezultati su sledeći:

vazduh	Oranž	20.50
	Crveni	21.00
	Zeleni	20.50
Ulje	Oranž	6.00
	Crveni	6.00
	Zeleni	7.50

Rezultati ispitivanja količine odbijene svetlosti kod davidita iz Crnog kamena (D. Radusinović, 1961) su sledeći:

17.9—18.3—17.1 i 16.3, zavisno od talasne dužine svetlosti. Ova ispitivanja vršena su u vazduhu.

Kako se iz gornjih rezultata vidi, postoje jasna odstupanja u pogledu količine odbijene svetlosti kod davidita iz Nežilova i onog iz Crnog kamena. To, međutim, ne treba da čudi, pošto je poznato da ove dve metode često daju donekle različite rezultate. S druge strane sadržaj urana u daviditu iz Crnog kamena znatno je veći i moguće je da je ovaj metal delom uzrok relativno niskih vrednosti. Isto tako mora se uzeti u obzir i činjenica da je davidit iz Crnog kamena redovno metamiktan, što znači finozrn, što takođe može da utiče na količinu odbijene svetlosti.

Ako naše rezultate uzmemo kao relativno merodavne za davidite koji sadrže malu količinu urana (ili ga ne sadrže uopšte) i davidite koji nisu metamiktizirani, postoji mogućnost za razlikovanje davidita od rutila u rudnom mikroskopu.

Hemijski sastav

Za hemijsku analizu izdvojen je materijal koji se pod mikroskopom pokazao potpuno čist, a dobijeni rezultati su sledeći:

PbO	11.83
Al_2O_3	1.54
Fe_2O_3	29.66*
TiO_2	47.91
U_3O_8	2.68
Nb_2O_5	0.06
MnO	0.07
RZ i Th oksidi	6.21**
ukupno:	99.96%

Spektralna analiza

Spektralna analiza davidita, koju je na našem materijalu izvršio M. Arsenijević, pokazala je da su sadrzaji pratećih elemenata uglavnom dosta oskudni:

Mg	350 gr/t	Y	1%
Mn	6500	Zr	1500
Sn	159	Cr	316
U	>1%	Sc	140
Si	+	La	159
Al	>1000	Ba	32
Nb	3500		

Iz hemijske i spektralne analize vidi se da se radi o mineralu titana i gvožđa sa veoma visokim sadržajem olova i niskim urana. Sadržaji retkih zemalja i toriuma su relativno niski, ali nažalost nisu dati odvojeno, tako da se o njima ne može nešto određenije reći. U svakom slučaju, oni se kreću u dozvoljenim granicama. Što se tiče PbO (11.83%), njegov sadržaj je upadljivo visok. Utoliko upadljivije, što izuzev davidita iz Crnog kamena (7.17 PbO), ovaj sadržaj ne prelazi 1.50%.

Rendgenska ispitivanja

Ispitivanja je vršio na našem materijalu M. Vukasović. On je uradio nekoliko dijagrama praha, ali su ovi bili nedovoljno izraženi a da bi se mogli koristiti u dijagnostičke svrhe. Zbog toga je mineral žaren do temperature od 850°, u trajanju od jednog sata, pri čemu je dobijen sledeći dijagram:

---

* U stvari se radi o zbiru FeO i Fe_2O_3, koji nisu posebno obračunati.

** RZ — retke zemlje. Torium nije posebno obračunavan, ali je njegov sadržaj verovatno nizak.

Katoda: Cu
Filter: Ni
Komora: 57.3 mm

I	dÅ
3	3.40
8	2.865
1	2.625
4	2.440
6	2.255
5	2.130
2	1.902
5	1.796
3	1.704
9	1.590
1	1.542
2	1.502
9	1.436

Broj linija dobijenih žarenjem relativno je mali, ali se gornji dijagram dobro slaže sa poznatim dijagramima davidita. Postoje odstupanja, ali ona leže u dozvoljenim granicama.

Ispitivanje mikrotvrdine

Mada se već i na osnovu mosove skale mogla približno odrediti tvrdina ispitivanog minerala, a takođe i pomoću reljefa u mikroskopu, želeli smo da tačno utvrdimo koliko ona iznosi, kako se to već radi u pogledu na mnogobrojne metalične minerale u svetu. Posebno iz razloga što precizno određivanje tvrdine davidita može da pomogne prilikom njegove determinacije u rudnom mikroskopu i uopšte.

Za ova ispitivanja koristili smo već poznatu i proverenu metodu vikersove tvrdine, pomoću Durimet-a, tipa Leitz, a radi sigurnijih rezultata vršili smo merenja dijagonala otisaka deset puta. Rezultati su sledeći:

Dobijena vrednost VT=711
Računski dobijena VT=714

Mikrohemijske reakcije

Korozije su izvedene sa većim brojem reagensa i dobijeni su sledeći rezultati:

Negativno:

HCl konz, $FeCl_3$ [zasić.], $SnCI_2$ [50%], HNO_3 konc., H_2O_2 [30%], ln-K_4 [$Fe(Cn)_6$], H_2SO_4 konc., KCN (20%), NaOH (20%) i carska voda.

Pozitivno:

HF konc.: irizaciona prevlaka, koja brzo prelazi u mrku do crnu. *Strukturna korozija:* otkrivanje zonarne građe. Prevlake se teško skidaju.

ZAKLJUČAK

Mineral iz Nežilova određen je kao davidit i to na osnovu detaljnih laboratorijskih ispitivanja. Pokazalo se, međutim, da postoje izvesna odstupanja, naročito u pogledu na davidite koji se javljaju van naše zemlje i to pre svega zbog neobično visokog sadržaja PbO (11.83). Druga karakteristika ispitivanog davidita je nizak sadržaj urana, a posebno prisustvo nemetamiktnih partija, čime je potvrđen zaključak A. G. Ž a b i n a da ovaj mineral ne mora da bude uvek u metamiktnom stanju. Nizak sadržaj urana u daviditu iz Nežilova ukazuje s jedne strane na mogućnost da je u metamiktiziranim partijama dolazilo do delimičnog ispadanja navedenog metala, ali takođe i na mogućnost da su pojedine partije opisanog davidita i primarno bile siromašne u uranu, ili ga čak nisu ni sadržavale.

Do nedavno davidit je smatran za izotropan mineral. Tek Ž a b i n sa saradnicima dokazuje da je on anizotropan, ukoliko nije metamiktan, a naša ispitivanja su ovo potvrdila. Mi smo takođe utvrdili da nemetamiktni daviditi mogu da pokažu i jasnu birefleksiju.

Ispitivanja pomoću mikrofotometra koja smo obavili dala su detaljne podatke u pogledu količine odbijene svetlosti kod pomenutog davidita i to kako u vazduhu tako i u ulju. Prema pristupačnoj literaturi ova ispitivanja dosada nisu vršena. Odredba vikersove tvrdine, utvrđivanje zonarne građe kao i način strukturnog korodovanja, zajedno sa gore iznetim rezultatima, u mnogome će pomoći pri rudno-mikroskopskim ispitivanjima davidita, koja doskora nisu dolazila u obzir. Mišljenja smo da bi i druge minerale iz navedene grupe trebalo sistematski ispitati na navedeni način, kako bi se dobijeni rezultati mogli koristiti pri rudno-mikroskopskim ispitivanjima.

Ovog puta je davidit prvi put nađen na mestu u našoj zemlji i to u kvarcnim žicama, zajedno sa hematitom. Ove žice, kao i kvarcno-feldspatske i pegmatitske, sa ili bez drugih titanovih minerala, javljaju se unutar olovo-cinkovog rudnog polja kod sela Nežilova i svakako je reč o visokotemperaturnom mineralu. Još od ranije je poznato (2, 3, 10, 15, 21) da se ovde unutar hidrotermalne olovo-cinkove parageneze javljaju i visokotemperaturni minerali iz grupe spinela i liskuna (spesartin, hercinit, ganit, rubinski liskun i dr.), koji su nastali kontaktno-metamorfnim putem. Utvrđeno je da visokotemperaturna silikatno-spinelska faza stoji u genetskoj vezi sa Pb—Zn mineralizacijom (V. V u j a n o v i ć, 1963). Nije, međutim, mogla biti utvrđena genetska veza između pegmatitskih i kvarcno-feldspatskih, odnosno kvarcnih žica sa Ti-mineralima s jedne strane i gornje dve parageneze s druge strane. Pojava davidita u kvarcnim žicama iz Nežilova ide, po našem mišljenju, u prilog zaključku da pegmatitske, kvarcno-feldspatske i kvarcne žice sa Ti-mineralima stoje u genetskoj vezi sa silikatno-sulfidnom mineralizacijom. Ovo naročito s obzirom na činjenicu da davidit iz opisane lokalnosti pokazuje visok sadržaj olova, što govori u prilog gledištu da se olovo u navedenoj lokalnosti počelo izlučivati još u pegmatitskoj fazi. U prilog ovakvom zaključku ide i činjenica da se povećani sadržaji olova zapažaju i u visokotemperaturnoj spinelsko-silikatnoj paragenezi (u silikatima i ganitu), kao i sama pojava ganita, koji govori da se i jedan deo cinka izlučio na visokoj temperaturi. Može se doista pretpostaviti da je jedan deo olova nastao raspadanjem urana, ali znatniji sadržaji radiogenog olova ne dolaze u obzir.

S tim u vezi postavlja se pitanje visokog sadržaja olova u daviditu iz Crnog kamena, takođe jedinstvenog u svetu. Mi ovaj sadržaj objašnjavamo na isti način, a manju količinu olova u daviditu iz Crnog kamena tumačimo manjim prinosom olova u navedenoj lokalnosti što je uostalom i dokazano dosadašnjim istraživanjima. Povezujući genetski ova dva davidita, dokazuje se u isto vreme, pored drugih podataka, da u severnim Pelagonidima, kako je to autor još ranije isticao, imamo isti magmatizam kao i u južnim, mada se njegove manifestacije, kao i neki krajnji produkti donekle razlikuju.

Na kraju, hteli bismo da podsetimo čitaoca, da su silikatno-sulfidne parageneze kod Nežilova kuriozitet svoje vrste u našoj zemlji i da su one izvanredno retke i u svetu. U genetskom pogledu ovakve parageneze su još uvek misteriozne. Naše je mišljenje da je moguće da se radi o kombinovano-regenerisanim paragenezama (V u j a n o v i ć, 1956), tj. o oživljavanju već postojećih Pb—Zn asocijacija, od strane mlađih, konkretno plutonskih (granitoidnih) stena, koje su oživljene i svoj sopstveni, juvenilni, materijal deponovale u određenom prostoru. Na taj način bi se najlakše moglo objasniti i stalno prisustvo olova i cinka u svim paragenezama, bez obzira na temperature njihovog stvaranja. Neočekivano prisustvo manganskog granata (spesartina) kao i manganskog hematita (V. V u j a n o v i ć, 1963) moglo bi se takođe objasniti regeneracijom, tj. oživljavanjem manganskih minerala pod uticajem mlađih granitoidnih stena. To što u opisanoj lokalnosti primarne manganske mineralizacije nisu dosada otkrivene, ni ukoliko ne mora da utiče na naš sud.

Ostaje ipak činjenica da za ovakvu genetsku interpretaciju još uvek nema dovoljno opipljivih dokaza.

Ispitivanja smo obavili na primerku koji nam je ustupio kolega Dr. inž. I v a n o v, na čemu mu se i ovom prilikom najlepše zahvaljujemo.

(Predato za štampu februara 1969. god.)

LITERATURA

1. B a l a š o v N. I., 1961: — Ufertiti — nov'ij mineral iz grup'i davidita. — Bjul. nauč. tehn. inform. Min. geol. i ohr. nedr. No. 2.
2. B a r i ć Lj., 1959: — Pijemontit, ganit i rutil iz nalazišta olovo-cinkane rude kod sela Nežilova u Makedoniji. — Glas. Prir. muz.
3. B a r i ć Lj. — I v a n o v T., 1960: — Mineralvergesellschaftung in der Umgebung des Dorfes Nežilovo in Mazedonien. — Bull. Sc. t. V. No 4.
4. B a n i s t e r F. A. — H o r n e E. T., 1950: — A radioactive mineral from Mozambique, related to davidite. — Min. mag. vol. 21.
5. B u t l e r I. R., 1960: — The constitution of davidite. — Econ. geol. vol. 56.
6. C r o o k W. T., 1916: — Chemical notes on davidite. — Trans. Proc. Roy. Soc. S. Australia, 40.
7. D a m j a n o v i ć A. — V u k a s o v i ć M., 1961: — Radioaktivni minerali iz Crnog kamena u Makedoniji — određen kao davidit. (D. Radusinović: Odredbe kol. odbijene svetlosti). — Radovi Zavoda za nukl. sir.
8. D a v i d s o n C. F. — B e n n e t I. A., 1950: — The uranium deposits of the Tete district, Mozambique. — Min. mag. Vol. 29.
9. F l e i s c h e r M., 1958: — New mineral names. — Am. min. Vol. 43.

10. Hayton I. D., 1960: — The constitution of davidite. — Econ. geol. vol. 55.
11. Ivanov T., 1961: — Kreitonit iz Pb-Zn nalazišta nedaleko od Nežilova u Makedoniji. — III Kongres, Budva.
12. Kazic'in J. B., 1956: — Ferutit i davidit. — B kn. »Kristalografija«.
13. Kleut D., 1959: — Ispitivanje rečnih nanosa u blizini pegmatitskih pojava terena Kukavice, Babune i Ograždena. — Fond. str. dok. Bgd.
14. Mawson D., 1944: — The nature and occurence of uraniferous mineral deposits in S. Australia. — Trans. Roy. Soc. S. Austr. Vol. 68.
15. Nikolić D., 1959: — Rezultati ispitivanja terena izvorišnog dela reke Babune kod Bogomile na Li i Be. — Fond str. dok. ZNS. Bgd.
16. Pabst A., 1961: — X-ray crystallography of davidite. — Am. min. vol. 68.
17. Pabst A. — Thomssen R. W., 1959: — Davidite from the Quijotoa Mountains, prima countu, Arisona. — Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 70.
18. Ramdohr P., 1960: — Die Erzmineralien. — Akad. Verlag. Berlin.
19. Soboleva M. V. — Pudovkina I. A., 1957: — Mineral'i urana. — M. Gosgeol. izd.
20. Strunz G., 1957: — Mineralogische Tabelle. Leipzig.
21. Vujanović V., 1956: — O kombinovanim i kombinovano-regeneriranim rudnim ležištima. — Glas. Prir. muz. Serija A.
22. Vujanović V., 1963: — Rudne pojave kod Bogomile i s. Openice u Makedoniji. — Trud. na geol. Zav. SRM. sv. 10.
23 Zabin A. G. — Voronkov A. A., Malezova E. B. — Kazakova M. F., 1963: — Nov'ie dann'ie ob akcessornom davidite iz Višnev'ih gor na Urale i o tak naz'ivaem'ih ufertite i ferutite. — Akad. Nauk. SSSR. Inst. min. geol. i krist retk. zemlj.
24. Whittle A. W., 1959: — The nature of davidite, Econ. Geol. vol. 54.

Zusammenfassung

V. VUJANOVIĆ[1]

MIOMIRIT, Pb-DAVIDIT AUS NEŽILOVO (MAZEDONIEN)*

Ungefähr 40 km (Luftlinie) südlich der Stadt Skoplje, unweit vom Dorfe Nežilovo, kommen Quarz, Quarz-Feldspat und pegmatitische Adern, und zwar in der Migmatiten vor. Stellenweise trift man in Quarzgängen Ti-Mineralien (Ilmenit, Rutil), manchmal auch Davidit, an. In der beschriebenen Lokalität befindet sich eine Pb—Zn Lagerstätte, wo neben PbS, ZnS u.a. Sulphiden, auch hochthermale Mineralien und zwar Ganit, Herzinit, Spesartin, Piemontit, Glimmer, optisch anomale Hematite mit mehr als 1% Mn, Magnetit, Ilmenit, Molybdänglanz u.a. auftreten.

Davidit kommt in Form von Körner und Kristallen bis 1, bzw. 0,5 mm Grösse, und zwar mit Hämatit vor. Das älteste Mineral ist Davidit, das jüngste Hämatit.

Davidit ist rot-braun, braun, und ohne Glanz. Schon makroskopisch, auch mikroskopisch, ähnelt es dem Rutil. Teilweise ist Metamikt, teilweise mit bemerkbarer Bireflexion und heller Anizotropie (Oel). Die Innenreflexe sind gelb, braun-gelb bis rot-braun, gewöhnlich (Oel) bemerkbar bei + N.

---

[1] Institut für Untersuchungen der nuclearen und anderen Rohstofsen, Beograd.

* Diese Arbeit wurde an der Tagung der Serbischen geologischen Geselschaft am 5. VI 1967 mitgeteilt.

Das Reflexionvermögen (Mikrofotometer):

	In Luft	In Oel
grün	20.50	7.50
orange	20.50	6.00
rot	21.00	6.00

Ätzverhalten:

Positiv mit HF. Irisation, dann schnelle Schwärzung. Gute Strukturätzung mit Entwicklung von Zonenbau.

Negativ: HCl, $FeCl_3$ (satt.), $SnCl_2$ (50%), H_2O_2 (30%), H_2SO_4, ln-$K_4[Fe(Cn)_6]$, HNO_3, KCN (20%), NaOH (20%), Königswasser. Mikrohärte: VT=711.

Mineralogische, chemische, spektrochemische und Röntgen-Analysen zeigten dass es sich um einen Davidit handelt, mit sehr hohen Gehalt an PbO (11.83%), und niedrigen an U_3O_8 (2.68%). Man setzt auch einen teilweisen Ausfall von U aus dem Davidit-Gitter im Laufe der Metamiktisierung voraus.

Auf Grund der unserer und anderer früheren Untersuchungen, ist es klar, dass die beschriebene Pb—Zn-Paragenese in einem sehr grossen Temperatur-Bereich entstand, und dass Blei und Zink sowohl in der pegmatitischen, als auch hydrothermalen Phase zugeführt wurden. Als Beweis können dienen die hohen Gehalte von Blei im beschriebenen Davidit, und andere Hochtemperatur Mineralien und zwar Ganit und Glimmer (0.1—0.4% Pb), die Anwesenheit von Ganit, als auch das Vorkommen von hydrothermalen Pb—Zn Mineralien, d.h. Bleiglanz und Zinkblende, dienen.

Die beschriebene kontakt-metamorphe Lagerstätte ist genetisch an Granitoide gebunden, dessen Alter wahrscheinlich laramisch ist.

Es ist auch nicht ausgeschlossen dass es um eine kombiniert-regenerierte Paragenese handelt (V. Vujanović, 1956), d.h. um eine kombinierte Tätigkeit von Granitoide, so dass einerseits Kontaktsilikate und ihre Gefolgschaft gebildet wird, und andererseits erfolgt eine Belebung der schon vorhandenen Pb—Zn sulphiden. Auch besteht die Möglichkeit dass ein Teil der Mangan regeneriert wurde (Spesartin, Mn-hematit). Leider, bis heute, man konnte diese Voraussetzung nicht beweisen.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

STANIŠA RADOŠEVIĆ

UDK = 552.50:551.736 (497.12)

LITOFACIJALNE KARAKTERISTIKE PERMSKIH TERIGENIH SEDIMENATA POHORJA I NJIHOVO UPOREĐENJE SA ISTIM SEDIMENTIMA ŽIROVSKOG VRHA I ŠKOFJE LOKE U SLOVENIJI

(sa 1 prilogom, 1 tabelom i 2 dijagrama)

U ovom radu obuhvaćeno je proučavanje litoloških karakteristika permskih terigenih sedimenata planine Pohorje u Sloveniji koji se upoređuju sa sedimentima iste starosti na Žirovskom Vrhu kod Gorenje Vasi i u oblasti Škofje Loke, takođe u Sloveniji. Pored velikih sličnosti sedimenata ovih triju oblasti postoje i razlike koje su u radu detaljno obrađene i opisane. Ove razlike koje se javljaju autor smatra da su proizvod udaljenosti sedimentacionih basena od obalske linije a s tim u vezi i matičnih stena koje su dale materijal za njihovo stvaranje. Permski terigeni sedimenti ovih triju oblasti taloženi su u isto vreme ali najbliži obalskoj liniji i matičnim stenama bili su sedimenti Pohorja.

UVOD

Ovaj rad je rezultat višegodišnjeg rada autora na ispitivanju litoloških karakteristika ovih sedimenata na Žirovskom Vrhu i u oblasti Škofje Loke. Litološke karakteristike permskih terigenih sedimenata Žirovskog Vrha i Škofje Loke biće objavljene u posebnom radu. Ova ispitivanja su preduzeta u cilju pronalaženja pogodnih geohemijskih sredina na iznalaženje urana i to posle otkrivanja uranskog ležišta na Žirovskom Vrhu.

Kao baza za ispitivanje sedimenata Pohorja služio nam je izveštaj o proučavanju permskih sedimenata Slovenije od autora: K a r e l G r a d a, H i n t e r l e h n e r - R a v n i k A n e i A n t o n a R a m o v š a.

U toku petrološke obrade primeraka zapazili smo da se u ovim sedimentima javljaju dve vrste kvarca s obzirom na njihovo poreklo iz dveju različitih matičnih stena i to: kvarc iz eruptivnih stena i kvarc iz metamorfita. Na osnovu toga pokušali smo da ih integriranjem izdvojimo i po formuli:

$$\frac{\text{Kvarc iz eruptiva}}{\text{Kvarc ukupni}}$$

izračunamo indeks porekla ovih sedimenata. Indeks zrelosti ovih sedimenata izračunat je po sledećoj formuli:

$$\frac{\text{Kvarc ukupni}}{\text{Kvarc ukupni + feldspati}}$$

Spektrohemijske semikvantitativne analize uradili su Stana Maksimović i Milorad Arsenijević, a foto snimke Ranko Radoičić.

Koristim ovu priliku da izrazim svoju zahvalnost kolegama geolozima geološkog Zavoda Slovenije Ani Hinterlehner-Ravnik i Karel Gradu na konsultacijama i veoma uspešnoj saradnji.

GEOGRAFSKI POLOŽAJ I DOSADAŠNJI REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivani teren nalazi se na SZ delu Pohorja i to na listu Slovengradec 3 i 4 u razmeri 1 : 50.000. Teren zauzima površinu od 20 km². Severnu granicu terena čini reka Drava, a zapadnu put Dravograd—Slovengradec. Granica od ovog puta, tj. od sela Bukovska Vas, ide preko Jesenkovog Vrha (k. 927), Kremžarjevog Vrha (k. 1161) na Mršakov Vrh (k. 953 m), odakle se dolinom reke Crkvenice spušta na naselje Vuzenice.

Prema rezultatima ranijih autora i autorima pomenutog izveštaja (lit. 2) na ovom području podinu gredenskim terigenim sedimentima čine metamorfne stene tj. filiti, dok krovinu čine sedimenti gornjokredne starosti koja je dokazana nalaskom karakterističnih fosila. Na severnom delu terena u području sela Trbonje ovi sedimenti su pokriveni tercijarnim šljunkom. Filiti su prožeti žicama dacita i dijabaza koji se mestimično nalaze na kontaktu između filita i gredenskih sedimenata (južno od lokalnosti Sv. Ane, i u predelu Sv. Ožbalt). Na nekoliko mesta zapaženi su manji proboji dacita na kontaktu krečnjaka i gredenskih sedimenata (severne padine Mravljakovog Vrha).

Do sada nisu konstatovani valuci dijabaza u gredenskim sedimentima ali nema ni njihovih žica u njima. Po ovim autorima dijabaz je mladi od gredenskih sedimenata.

U izvesnim delovima terena kao npr. u dolini reke Požarke ovi sedimenti su tektonski veoma poremećeni i ubrani. U nižim delovima reke na jednom mestu oko 200 m severno od kote 569 crveni konglomerat je tektonski utisnut između dacita u podini i filita u povlati.

Petrografskim ispitivanjem nisu obrađene eruptivne stene, ali po našem mišljenju i po mišljenju ranijih autora na Pohorju i u ovom delu terena imaju priličnu zastupljenost tipični tonaliti.

Debljina gredenskih sedimenata na ispitivanom delu terena iznosi oko 350 m (lit. 2).

LITOFACIJALNO RAZVIĆE

Na osnovu ispitivanja, treba odmah ukazati na više teškoća u određivanju položaja pojedinih litotipova a često i čitavih komplekasa u seriji gredenskih sedimenata oblasti Pohorja. U prvom redu ovde je velika pokrivenost terena (malo otkrivenih profila), zatim slabo izražena ili potpuno nenaglašena slojevitost, a sa tim u vezi i nejasni padovi slojeva.

Na bazi geološkog stuba autora (lit. 2) i na osnovu našeg terenskog promatranja izrađen je šematski prikaz litološkog stuba, koji je prikazan u prilogu.

Na filitima karbonske starosti, koji su isprobijani dacitom, tonalitom i dijabazom, leže gredenski terigeni sedimenti. Na većini mesta na kontaktu sa filitima javljaju se crveni bazalni konglomerati, konglomeratični peščari sa fragmentima crvenog peščara i kvarc-porfira. Ređe se na podini nalaze krupnozrni peščari. Samo na jednom mestu zapaženi su sivi peščari u direktnom kontaktu sa filitima (okolina Primoškog Vrha).

Bazni slojevi predstavljeni su brečama sa oštroivičastim fragmentima kvarcita i filita, delimično zaobljenim fragmentima kvarca i lepo zaobljenim fragmentima crvenkastog kvarcporfira i keratorifa koji po strukturi i sastojcima veoma podsećaju na ignimbrite. Kod ovih fragmenata je obično lepo izražena fluidalna tekstura. Pored ovih, ovi delovi sadrže i fragmente rožnaca. Feldspati su retki i njihova zastupljenost ne prelazi 10%. Prisutni su kiseli plagioklasi zahvaćeni procesom sericitizacije. Muskovit je redak i njegovo učešće ne prelazi 5%, a u peščarima do 10%. Kvarc iz eruptiva i kristalastih škriljaca je skoro podjednako zastupljen. Učešće vulkanskih i metamorfnih fragmenata se malo razlikuje. Srednje vrednosti iznose za vulkanske fragmente 30%, a za metamorfne 25%. Cement je u svim litotipovima kontaktnog i pornog tipa i čini ga mrkocrvena gvoždevita materija sa sericitsko-silicijskom materijom. Sadržaj cementa se kreće do 20%. U peščarima su zapažene pojave obezbojavanja kao i konkrecije kalcita. Zapaženi su i fragmenti krečnjaka.

Iznad ovih bazalnih slojeva leže slojevi sivih peščara tufoznog karaktera i tufita sa proslojcima crvenih alevrolita. Moćnost ovih sedimenata iznosi 45—60 m. Odmah treba naglasiti da su ovde sedimenti sive boje, suprotno Žirovskom Vrhu, sitnozrniji od crvenih litotipova. Predstavljeni su srednjezrnim i sitnozrnim peščarima sa velikim učešćem tufoznog materijala koji se kreće do 65%. Psamitske su strukture. Često su jako uškriljeni. Izgrađuje ih sitnozrna tufozna materija silicijsko-sericitskog i hloritskog sastava, mestimično izotropna, sa dispergovanim prahom rudnog minerala. U ovu materiju utopljena su oštroivičasta zrna i odlmoci fenokristala resorbovanog kvarca, sericitisanih kiselih feldspata do 15% i retki fragmenti prekristalisale osnovne mase kvarc-porfira, keratofira i njihovih tufova. U krupnozrnijim tipovima ovi fragmenti su prisutni do 40%, a fragmenti metamorfnih stena do 30%. Muskovit je prisutan do 13%. Cement je kontaktnog, pornog i bazalnog tipa. Obično je izgrađen od sericitsko-silicijske materije, a u tufoznim litotipovima predstavljen je vulkanskim pepelom koji je zahvaćen hloritizacijom i sericitizacijom. Procent cementne materije obično se kreće oko 10%, dok u tufoznim litotipovima i do 45%. Mestimično se po cementu mogu zapaziti masice kalcita.

Na ovoj tufoznoj seriji leže konglomerati i breče promenljive debljine crvene boje, koji sadrže delimično zaobljene fragmente kvarc-porfira, keratofira do 20 cm veličine, čiji je visok sadržaj i makroskopski uočljiv. Brojanjem ovih fragmenata na određenoj površini dolazi se do 60% njihovog sadržaja. Međutim, mikroskopskim ispitivanjem sadržaj ovih fragmenata je nešto manji jer je zahvaćen mali deo stene. Sitni fragmenti

ovih eruptiva i ovde preovlađuju u odnosu na fragmente metamorfnih stena. Integriranjem preparata dobijeno je učešće vulkanskog materijala do 40%, a metamorfnog do 35%, ne uzimajući u obzir kvarc različitog porekla. Ovaj horizont konglomerata i breča je zbog ovog markantan i naročito lepo otkriven u dolini reke Požarke. Kvarc je prisutan u oštroivičastim i zaobljenim zrnima. Muskovit je čest i njegovo učešće u steni se kreće do 10%. Feldspati su predstavljeni kiselim plagioklasima i albitom. Njihov sadržaj se kreće do 8%. Zapaženi su i retki fragmenti crvenih alevrolita. Cement im je pornog i kontaktnog tipa i čini ga gvoždevito-sericitska i silicijska materija.

Najveću debljinu i rasprostranjenje na ovom delu terena imaju crveni grubozrni do konglomeratični peščari sa tanjim proslojcima srednjezrnih i sitnozrnih peščara. U ovom kompleksu na nekoliko mesta javljaju se proslojci zelenih peščara čija debljina ne prelazi nekoliko metara. Takav jedan sloj izdvojen je u gornjem delu stuba (vidi prilog). Ovi peščari su tufoznog karaktera i u njima se mogu videti proslojci pravih tufita. Sastav i ostale karakteristike su potpuno isti kao onih iznad bazalnih slojeva.

Gornji deo gredenskih sedimenata na Pohorju izgrađen je od naizmeničnih smenjivanja grubozrnih i konglomeratičnih pa sve do sitnozrnih crvenih peščara kojih ima najmanje. U opšte posmatrano znatno preovlađuju grubozrniji litotipovi. Ovde se radi o često kompaktnim crvenim litotipovima koje izgrađuju oštroivičasta zrna kvarca vulkanskog do 35% i metamorfnog porekla do 23%. Kako se vidi iz priloga, ovaj prvi uvek preovlađuje. Feldspati su predstavljeni kiselim plagioklasima, albitom i ortoklasom. Sadržaj im se u gornjim delovima kreće oko 4%, dok se u najnižim, bliže sivim peščarima i konglomeratima, povećava do 15%. Može se reći da su feldspati u sedimentima Pohorja više zastupljeni nego u predelu Žirovskog Vrha i Škofje Loke (vidi tabelu). Feldspati mogu biti sveži ili delimično sericitisani. Sitni fragmenti osnovne mase eruptivnih stena su vrlo česti i njihov procenat se kreće do 50%. Često je ova masa prekristalisala. Ređe se u njoj mogu zapaziti fenokristali resorbovanog kvarca i feldspata i to samo u konglomeratičnim partijama. Fragmenti karbonskih filita, rožnaca i kvarcita su manje zastupljeni od ovih i njihovo učešće se kreće u granicama od 4—42%. Sadržaj preko 30% je redak i vezan je takođe za konglomeratične partije. Muskovit je čest i njegov sadržaj se kreće do 20%. Cement je pornog i kontaktnog tipa (do 20%), a sasvim retko bazalnog, kada je prisutan i do 35%.

AKCESORNI MINERALI I NJIHOVO KRETANJE KROZ SERIJU GREDENSKIH SEDIMENATA POHORJA

Akcesorni minerali u ovim sedimentima predstavljeni su: rudnim mineralima, cirkonom, rutilom, amfibolima, granatom, apatitom, baritom, brukitom, epidotom, turmalinom i sfenom. Problematična je odredba korunda, koji zbog minimalne količine zastupljenosti (1—2 zrna) nije mogao biti tačno identifikovan. Teške frakcije su krajnje retko prelazile 1 gr na 1 kgr težine uzorka. Rudni minerali računati su na celu količinu teške frakcije dok su drugi akcesorni minerali, radi lakšeg predstavljanja, računati bez njih, a i cilj nam je bio samo njihov odnos da upoznamo.

Na prilogu je dat grafički prikaz zastupljenosti ovih minerala u litološkim članovima Pohorja.

Cirkon je najzastupljeniji akcesorni mineral. Njegov sadržaj se kreće u granicama od 25—70%. Prisutan je u svim litotipovima i ne zapažaju se varijacije u sadržaju kroz seriju sedimenata.

Rutil je po zastupljenosti na drugom mestu. Javlja se takođe u svim litotipovima, ali su kod njega očigledne varijacije u sadržaju, kako duž serije sedimenata, tako i u pojedinim litotipovima. Njegov sadržaj pokazuje tendenciju smanjenja idući ka karbonu da bi se blizu kontakta ponovo povećao. Procenat zastupljenosti mu je različit u sivim i crvenim litotipovima. Crveni peščari i konglomerati ga sadrže od 20—45%, dok sivi litotipovi od 2—10%. On se obično javlja u zaobljenim zrnima.

Amfiboli su prisutni do 10%. Zastupljeni su više u gornjem delu serije isto kao na Žirovskom Vrhu. Donji deo ili ih ne sadrži, ili su to minimalne količine. Amfiboli su predstavljeni najčešće hornblendom, a ređe fibroznim agregatima tremolita i aktinolita.

Granat se u pogledu sadržaja ponaša kao na Žirovskom Vrhu, tj. pokazuje tendenciju povećanja u nekoliko slojeva idući ka podini gredenskih sedimenata, mada to nije tako karakteristično s obzirom na mali broj urađenih primeraka. Sadržaj mu se kreće od nekoliko do 55%. Ne mogu se uočiti razlike u njegovom sadržaju u litotipovima različite boje.

Apatit je prisutan skoro u svim ispitivanim primercima. Njegov sadržaj se kreće do 20%. On takođe pokazuje slabo naglašenu tendenciju povećanja sadržaja idući ka podini.

Epidot je u ovim sedimentima prisutan u malim količinama. Preračunato samo na tešku frakciju njegov sadržaj se kreće od 0—10%, najčešće oko 2%.

Autigeni minerali kao što su: barit, kalcit, brukit su vrlo retki, osim barita u pojedinim litotipovima, čiji sadržaj u njima dostiže i 86% teške frakcije bez rudnih minerala.

Sadržaj urana, torijuma i kalijuma

Sadržaj urana u ovim sedimentima se kreće od 1—11 gr/t i to obično oko 2 gr/t. Njegovo prisustvo u crvenim litotipovima je prilično ujednačeno dok u sivim varira, i u dva primerka pokazuje sadržaj od 4 i 11 gr/t. Ovde se radi o sivim limonitisanim peščarima. Merenjem radioaktivnosti na terenu navodi se da su na području Krevka i Pristovnika u crvenom konglomeratu sa 40% vulkanskog materijala utvrdili povećanje radioaktivnosti od 0,07 μR/h — 12 μR/h. Ovu anomaliju nismo uspeli da pronađemo. Ukoliko se budu vršila detaljnija istraživanja treba detaljno izvršiti merenje radioaktivnosti svih litotipova, jer do sada nije poznata ni jedna radioaktivna anomalija u crvenim sedimentima osim ovde na Pohorju.

Sadržaj torijuma se kreće od 5—16 gr/t. Na osnovu rezultata dobijenih radiometrijskim analizama ne zapažaju se razlike u njegovom sadržaju u različitim litotipovima, niti pak njegova zavisnost od sadržaja urana.

Sadržaj kalijuma u terigenim permskim sedimentima Pohorja kreće se u granicama od 1—6%. Najveći sadržaj kalijuma oko 6% dobijen je za sivozeleni tufozni peščar koji sadrži znatno povećanu količinu feldspata i liskuna. Kako za torijum, tako i za kalijum se ne mogu uočiti razlike u njegovom sadržaju u različitim litotipovima.

UPOREĐENJE GREDENSKIH SEDIMENATA POHORJA SA SEDIMENTIMA ISTE STAROSTI ŽIROVSKOG VRHA I ŠKOFJE LOKE

Upoređujući gredenske terigene sedimente ove tri oblasti mogu se naći nekoliko zajedničkih osobina a isto tako i razlike. Priroda jednog sedimenta zavisi od mnogo faktora između kojih su najvažniji: priroda podine i matičnih stena od kojih su oni postali, klimatski uslovi, udaljenost sedimentacionog basena od mesta erozije matičnih stena i udaljenost od obalske linije kao i procesa koji su delovali u toku dijageneze i katageneze.

Na osnovu naših ispitivanja i literaturnih podataka (lit. 1 i 2) možemo u kratkim crtama izneti razlike i sličnosti gredenskih sedimenata ove tri oblasti.

Međusobne razlike

1. Podinu gredenskim terigenim sedimentima na Pohorju čine karbonski filiti probijeni žicama dijabaza i dacita. Nije zapaženo da dijabaz i dacit probijaju gredenske sedimente. Na Žirovskom Vrhu i u predelu Škofje Loke podinu ovim tvorevinama sačinjavaju crni karbonski peščari i argilošisti (Žirovski Vrh) i karbonske breče, konglomerati i peščari (Škofja Loka).

2. U litološkom pogledu bazne delove gredenskih sedimenata, u predelu Škofje Loke čine crveni konglomerati ili crveni sitnozrni peščari. Na Pohorju bazalne delove izgrađuju takođe crveni konglomerati sa crvenim peščarima, osim jedne lokalnosti (Primožki Vrh), gde se nalazi sivi peščar direktno na kontaktu sa karbonom. Žirovski Vrh se u ovom pogledu razlikuje. Ovde je utvrđeno da sivi sedimenti (konglomerati, breče i peščari) čine bazalni deo gredenskim terigenim sedimentima.

3. Zastupljenost i moćnost sivih litotipova na Pohorju je manja u odnosu na crvene, što je isti slučaj i u predelu Škofje Loke, a suprotno od Žirovskog Vrha, gde sivi peščari čine oko 80% zastupljenosti u mineralizovanom delu gredenskih sedimenata. Može se reći da se sivi litotipovi u predelu Škofje Loke i na Pohorju javljaju u crvenim, što je obrnut slučaj na Žirovskom Vrhu.

4. Crveni litotipovi Škofje Loke i Žirovskog Vrha su izrazito sitnozrni (breče su retke, najčešće sitnozrni peščari i alevroliti) od crvenih na Pohorju (alevroliti retki, breče, konglomerati i grubozrni litotipovi su najčešći).

5. Sivi litotipovi u predelu Škofje Loke i na Žirovskom Vrhu su predstavljeni peščarima različite veličine zrna i brečama, dok su na Pohorju uvek sitnozrniji.

6. Pojave uranske mineralizacije na Žirovskom Vrhu i u oblasti Škofje Loke javljaju se samo u sivim litotipovima. U sedimentima Po-

horja registrovana je jedna anomalija (lit. 2) u crvenim sedimentima, dok sivi litotipovi, na osnovu radiometrijskih analiza, nisu pokazali veći sadržaj urana od crvenih.

7. Makroskopski gledano na Žirovskom Vrhu fragmenti crvenog i crnog kvarc-porfira i keratofira veličine do 5 cm zapaženi su u sivim litotipovima. U crvenim sedimentima u ovoj lokalnosti ovi fragmenti su zapaženi samo u bušotini br. 16 na 120 i 160 m dubine. U litotipovima sedimenata oblasti Škofje Loke nisu zapaženi makroskopski vidljivi ovi fragmenti. Na Pohorju se ovi fragmenti uvek nalaze u crvenim sedimentima a i mnogo su krupniji. Njihova veličina kreće se do 20 cm. Kako na Žirovskom Vrhu tako i na Pohorju ovi su fragmenti dobro zaobljeni, mada smo na Pohorju nailazili i na oštroivičastu formu.

8. Na Žirovskom Vrhu i Pohorju u sedimentima nisu zapažene žice dijabaza ili drugih magmatskih stena. U oblasti Škofje Loke kod sela Mlake vide se žice zelenog dijabaza u crvenim alevrolitima koji su na kontaktu sa njima promenjeni, tj. silifikovani, sericitisani i hloritisani.

9. U sivim litotipovima Žirovskog Vrha često se u blizini uranske mineralizacije javljaju komadi i pritke antracita. U oblasti Škofje Loke i Pohorja nije do sada zapaženo prisustvo antracita.

Međusobne sličnosti

1. Poreklo materijala gredenskih sedimenata na Žirovskom Vrhu i u predelu Škofje Loke i Pohorja je zajedničko. Materijal za stvaranje ovih sedimenata dale su stene karbonske starosti (peščari, argilošisti i filiti) i stene magmatskog porekla (kvarc-porfiri, keratofiri i njihovi tufovi).

2. Modalni sastav sedimenata i indeks porekla dat je na tabeli, za sve tri lokalnosti i on pokazuje sledeće sličnosti:

a). Materijal iz pomenutih magmatskih stena preovlađuje nad materijalom metamorfnog porekla.

b). Kvarc iz eruptiva u sedimentima svih lokalnosti preovlađuje nad kvarcom iz metamorfnih stena, što se i vidi iz srednjih vrednosti urađenih primeraka.

Srednje vrednosti	Kvarc iz eruptiva	Kvarc iz metamorfnih stena
Žirovski Vrh	17,94%	12,77%
Škofja Loka	20,21%	10,90%
Pohorje	16,43%	8,31%

Indeks porekla	
Žirovski Vrh	0,57
Škofja Loka	0,62
Pohorje	0,63

c). Sadržaj feldspata je u svim lokalnostima mali što se odražava na indeks zrelosti (vidi tabelu u prilogu). Međutim treba naglasiti da u tri ispitana primerka Pohorja sadržaj feldspata se kreće od 15—23%, dok ga sedimenti na Žirovskom Vrhu i u oblasti Škofje Loke sadrže znatno manje. Na osnovu ova tri primerka ne možemo praviti razliku među njima, jer oni u mnogome povećavaju srednji sadržaj feldspata na Pohorju.

Srednje vrednosti	Feldspati	Indeks zrelosti
Žirovski Vrh	2,64%	92
Škofja Loka	3,43%	88
Pohorje	4,14%	85

Na osnovu do sada ispitanih primeraka dolazi se do zaključka da sedimenti Pohorja sadrže najviše feldspata od svih lokalnosti i zbog toga pokazuju najmanju zrelost. Da bi se dobili tačniji statistički podaci potrebno je ispitati veći broj primeraka. Međutim, razlike koje se javljaju u sadržaju feldspata ovih lokalnosti ne smatramo velikim i odlučujućim za njihovu korelaciju.

d) . Fragmenti magmatskih stena su iste prirode u svim lokalnostima dok se fragmenti metamorfnih stena razlikuju.

Srednje vrednosti	Magmatske stene	Metamorfne stene
Žirovski Vrh	25,74%	15,66%
Škofja Loka	34,17%	15,49%
Pohorje	28,36%	17,43%

Rezultati mikroskopskog ispitivanja i integriranja na Šand-ovom stočiću pokazuju da su fragmenti magmatskih stena i njihove osnovne mase najviše zastupljeni u sedimentima Škofje Loke. Međutim, oni su kako u oblasti Škofje Loke tako i na Žirovskom Vrhu manjih razmera, zbog čega ih mikroskopski preparat više sadrži. U sedimentima Pohorja ovi su fragmenti vrlo krupni, makroskopski vidljivi, i može se zaključiti da su u ovoj lokalnosti najviše i zastupljeni.

Što se tiče fragmenata metamorfnih stena oni se razlikuju. Na Žirovskom Vrhu i u predelu Škofje Loke javljaju se karbonski peščari, argilošisti i kvarciti dok su na Pohorju predstavljeni kvarcitima, filitima, a zapaženi su i fragmenti gnajseva, mada vrlo retki. Treba napomenuti da se u svim lokalnostima u izvesnim horizontima javljaju fragmenti crvenih alevrolita i peščara permske starosti, koji su pretaloženi iz ranije stvorenih slojeva.

e). Muskovit i transformisani biotit i hlorit obuhvaćeni su imenom liskuna. Njihov sadržaj je prilično mali.

Srednje vrednosti	Liskuni
Žirovski Vrh	6,05%
Škofja Loka	3,90%
Pohorje	5,47%

f). Cement gredenskih terigenih sedimenata ovih oblasti je sledećeg tipa: porni, kontaktni i bazalni. Prema našem mišljenju smatramo da učešće cementa ne treba da ima odlučujuću ulogu u korelaciji ovih sedimenata, jer je mnogo važnija njihova priroda. Na osnovu mnogobrojnih ispitivanja sivi litotipovi su u svim lokalnostima cementovani silicijsko-sericitskom materijom, dok su crveni cementovani mrkom gvožđevitom materijom. U svim lokalnostima ove vrste primarni cement je potisnut sekundarnom karbonatnom materijom.

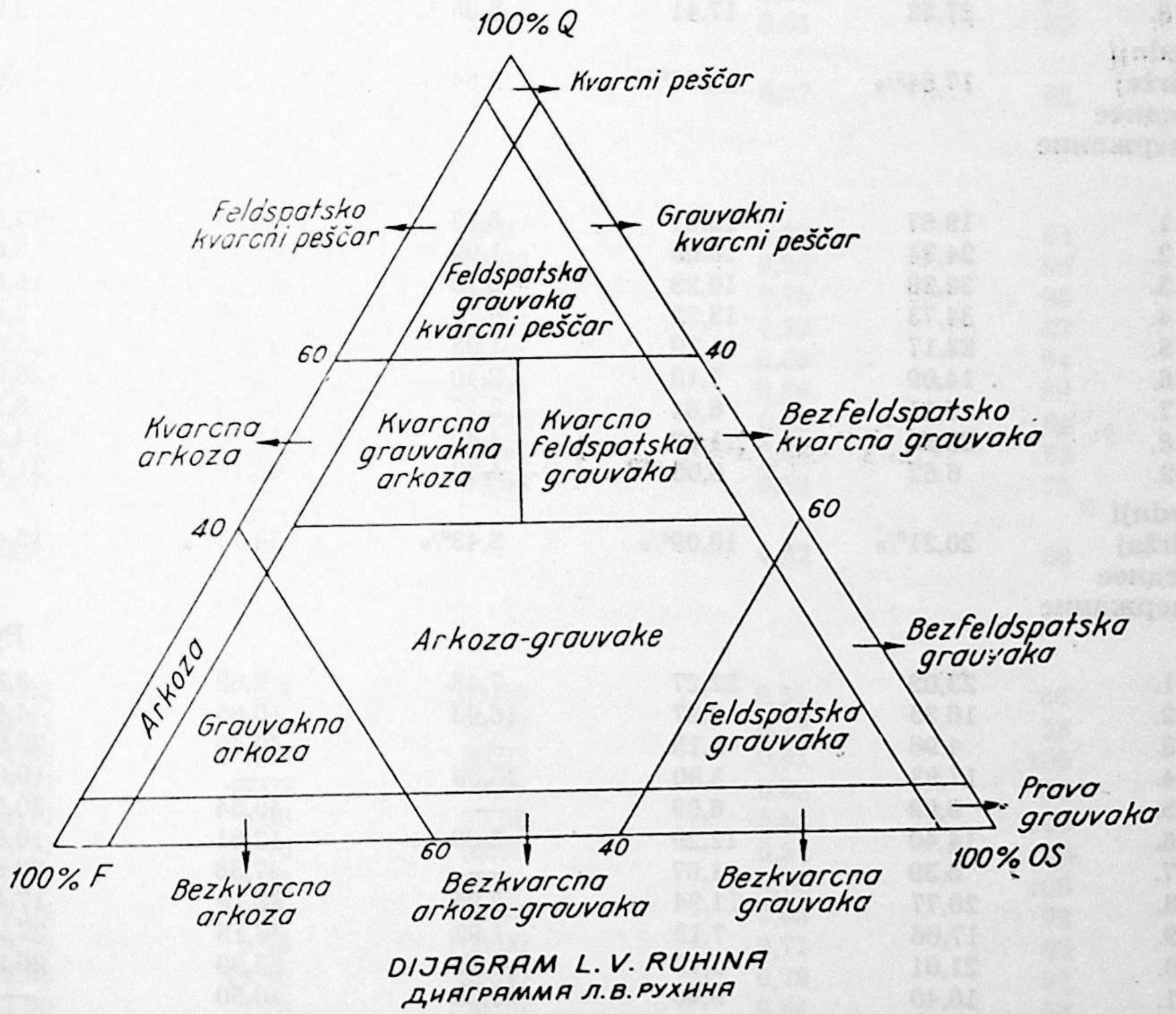
Srednje vrednosti	Cement
Žirovski Vrh	20,68%
Škofja Loka	11,90%
Pohorje	17,92%

3. Akcesorni minerali su potpuno isti u sedimentima ovih lokalnosti. Kretanje njihove procentualne zastupljenosti kroz seriju je takođe slično. U njihovim karakteristikama i procentualnom sadržaju ne mogu se na osnovu dosadašnjih ispitivanja naći razlike.

4. Sivi litotipovi se u svim navedenim lokalnostima javljaju u najdonjim delovima serije bliže podini gredenskih sedimenata.

5. U sedimentima, naročito u crvenim litotipovima, na Žirovskom Vrhu i u predelima Škofje Loke i Pohorja česte su konkrecije kalcita koje su okrugle ili u uškriljenim partijama eliptičnog oblika. U sedimentima ovih oblasti zapaženi su i savršeno zaobljeni fragmenti krečnjaka veličine do 10 cm.

6. Proces obezbojavanja crvenih litotipova je karakteristična pojava u svim lokalnostima. Dosadašnjim ispitivanjem nije se mogla uočiti neka veza između pojava obezbojavanja i radioaktivnosti.



DIJAGRAM L. V. RUHINA
ДИАГРАММА Л. В. РУХИНА

7. Dijagrami pokazuju trougaone dijagrame L. B. Ruhin-a za klasifikaciju sedimentnih stena. Na jednom je dat položaj tačaka koje karakterišu ispitivane sedimente ove tri oblasti. Radi upoređenja date su

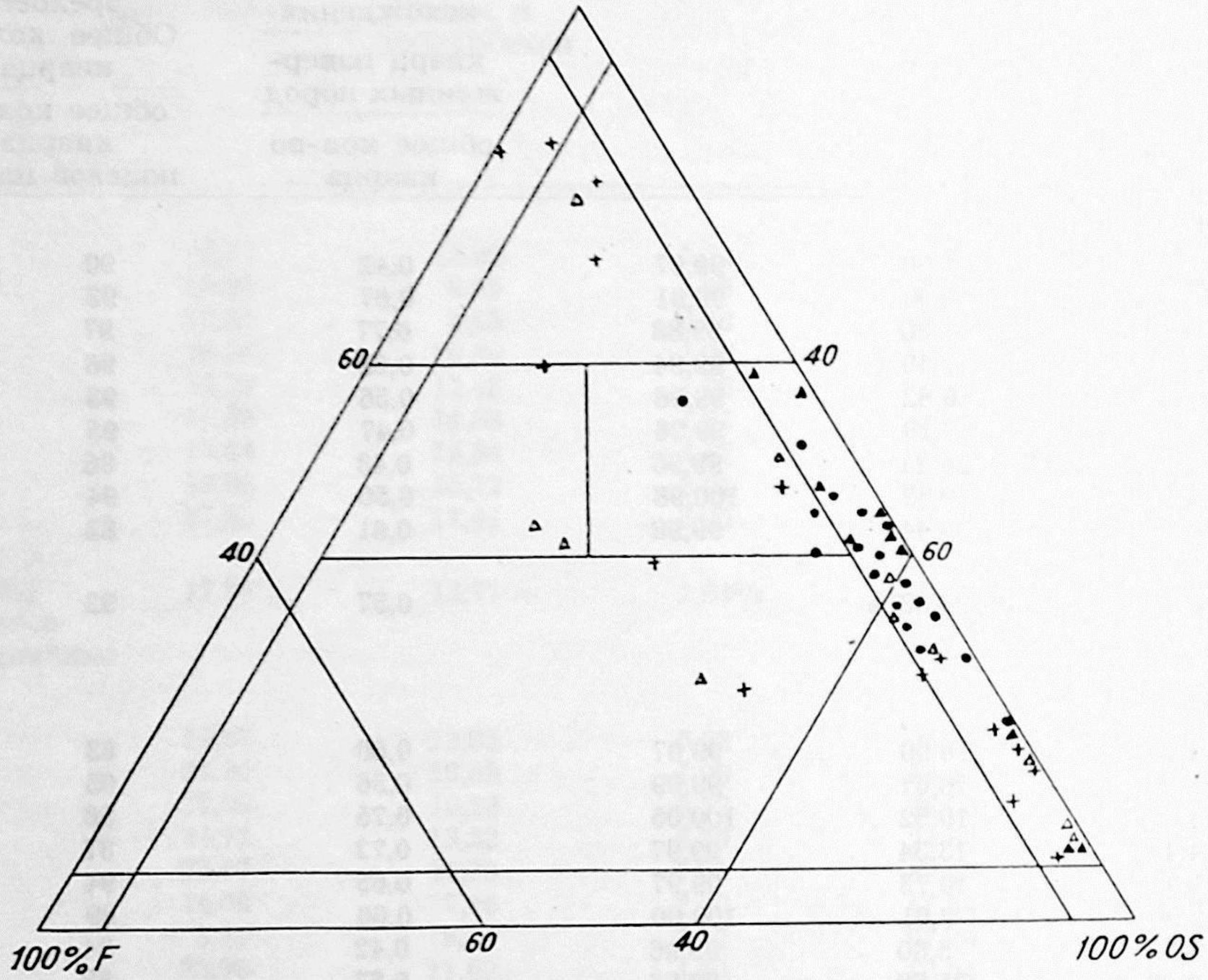
UPOREDNA TABLICA MODALNOG SASTAVA FACIJE SIVIH SEDI
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА МОДАЛЬНОГО СОСТАВА ФАЦИИ СЕРЫХ ОТ

Redni broj	Kvarc iz eruptiva	Kvarc iz škriljaca i peščara	Feldspati	Fragmenti eruptiva	Fragmenti kvarcita
П. но.	Кварц изверженных пород	Кварц кристалических сланцев и песчанников	Полевые штапы	Обломки изверженных пород	Обломки кварцита
					ŽIROVSKI
1.	10,37	13,92	2,71	19,24	8,70
2.	18,06	8,85	1,95	15,13	8,56
3.	12,62	3,65	0,48	44,70	14,99
4.	16,58	10,29	1,08	41,80	17,56
5.	15,73	12,48	1,96	25,14	19,01
6.	14,88	16,85	1,81	27,47	24,08
7.	14,84	15,84	4,87	20,80	20,48
8.	16,02	15,72	2,01	21,83	18,10
9.	27,52	17,41	8,95	15,55	9,96
Srednji sadržaj Среднее содержание	17,94%	12,77%	2,64%	25,74%	15,66%
					ŠKOFJA
1.	19,67	13,01	6,23	25,24	14,48
2.	24,34	18,69	1,99	24,49	8,64
3.	32,28	10,28	0,73	26,03	16,50
4.	34,73	13,32	6,79	24,89	2,46
5.	22,17	11,79	1,93	32,42	15,61
6.	14,09	7,10	2,40	42,24	28,06
7.	5,11	6,84	2,17	67,79	8,24
8.	22,90	11,02	4,40	18,34	14,32
9.	6.62	6,05	4,20	46,10	31,10
Srednji sadržaj Среднее содержание	20,21%	10,09%	3,43%	34,17%	15,49%
					POHO
1.	23,02	22,27	7,48	2,62	3,36
2.	16,35	6,27	16,63	10,65	4,89
3.	4,96	3,15	—	40,49	28,95
4.	17,83	3,90	15,59	—	10,00
5.	9,99	6,09	—	45,54	30,53
6.	14,40	12,29	3,09	12,81	10,87
7.	5,39	1,67	—	47,36	39,69
8.	20,77	11,94	2,95	33,19	17,47
9.	17,06	7,13	1,92	36,15	27,26
10.	21,01	5,73	2,75	23,99	26,23
11.	16,40	9,40	23,25	40,50	—
12.	30,00	9,90	0,07	47,00	—
Srednji sadržaj Среднее содержание	16,43%	8,31%	6,14%	28,36%	17,43%

MENATA OBLASTI ŽIROVSKOG VRHA, ŠKOFJE LOKE I POHORJA
ЛОЖЕНИЙ ОБЛАСТЕЙ ЖИРОВСКОГО ВРХА, ШКОФЪЕЙ ЛОКИ И ПОХОРЪЯ

Liskuni Слюда	Cement i ostalo Цемент и остальное	Svega Всего	Indeks porekla kvarc iz eruptiva / kvarc ukupni Индекс происхождения кварц изверженных пород / общее кол-во кварца	Indeks Zrelosti kvarc ukupni / kvarc ukupni + feldspati Индекс зрелости Общее кол-во кварца / общее кол-во кварца полевой шпат
VRH				
17,47	27,56	99,97	0,42	90
7,36	40,00	99,91	0,67	93
1,64	21,80	99,88	0,77	97
2,20	10,49	99,94	0,62	96
6,02	19,62	99,96	0,56	93
2,68	12,19	99,96	0,47	95
3,49	20,24	99,96	0,48	86
6,48	20,82	100,98	0,50	94
7,15	13,44	99,98	0,61	83
6,05%	20,68%		0,57	92
LOKA				
4,44	16,90	99,97	0,60	83
5,17	16,67	99,99	0,56	95
3,71	10,52	100,05	0,75	98
4,44	13,34	99,97	0,72	87
5,32	10,73	99,97	0,65	94
2,30	3,91	100,00	0,66	89
3,93	5,80	99,96	0,42	84
3,39	25,59	99,96	0,67	88
2,42	3,47	99,96	0,52	75
3,90 %	11,90%		0,62	88
RJE				
3,32	37,93	100,00	0,51	86
16,51	28,69	99,99	0,72	58
4,98	7,44	99,97	0,61	100
7,97	44,69	99,98	0,82	58
2,77	5,06	99,98	0,62	100
11,77	34,76	99,99	0,54	90
2,13	3,76	100,00	0,76	100
2,04	10,62	99,98	0,63	92
4,50	5,98	100,00	0,71	93
3,88	16,40	99,00	0,78	91
3,90	7,10	100,55	0,64	53
0,90	12,60	100,47	0,75	99
5,47%	17,92%		0,63	85

i tačke karbonskih peščara i breča iz oblasti Škofje Loke. Iz dijagrama se vidi da većina tačaka permskih pa i karbonskih sedimenata dolaze u polje grauvaka i kvarcnih peščara. Nekoliko primeraka sa Pohorja i karbonskih sedimenta Škofje Loke pokazuju arkozni karakter zbog većeg sadržaja feldspata.



● PEŠČARI ŽIROVSKOG VRHA
ПЕСЧАННИКИ ЖИРОВСКОГО ВРХА

▲ PEŠČARI ŠKOFJE LOKE
ПЕСЧАННИКИ ШКОФЬЕЙ ЛОКИ

△ PEŠČARI POHORJA
ПЕСЧАННИКИ ПОХОРЬЯ

\+ BREČE I KONGLOMERATI KARBONA
БРЕКЧИИ И КОНГОМЕРАТЫ КАРБОНА

Q — KVARC
КВАРЦ

F — FELDSPATI
ПОЛЕВОЙ ШПАТ

OS — ODLOMCI STENA
ОБЛОМКИ ПОРОД

ZAKLJUČAK

Na osnovu proučavanja gredenskih sedimenata na Pohorju konstatovano je da su oni predstavljeni sledećim litotipovima:

1. Crveni bazalni konglomerati sa proslojcima peščara obično krupnijeg zrna, i fragmentima magmatskih i metamorfnih stena, kao i crvenih alevrolitičnih peščara;

2. Sivi, najčešće sitnozrni peščari sa proslojcima tufoznih peščara i tufita;

3. Crveni konglomerati i breče sa velikim procentom fragmenata magmatskih stena veličine do 20 cm;

4. Crveni grubozrni i konglomeratični peščari, koji imaju i najveću debljinu, sa retkim proslojcima sivih peščara istog sastava kao pod brojem 2.

Količina akcesornih minerala je mala, a takođe je mali i broj njihovih vrsta. Od alotigenih minerala po redu zastupljenosti dolaze: cirkon, rutil, amfiboli, granat, apatit, epidot, turmalin i sfen. Autigeni minerali su predstavljeni baritom, kalcitom i brukitom. U donjim delovima serije preovlađuju cirkon, granat, apatit i epidot, a u gornjim — cirkon, rutil i amfiboli.

Sadržaj urana, torijuma i kalijuma nema izrazitih i naglih promena u seriji, osim u dva slučaja, kada se radi o sivim limonitisanim peščarima.

Upoređujući rezultate ispitivanja gredenskih peščara Pohorja sa sedimentima iste starosti na Žirovskom Vrhu i u predelu Škofje Loke zapažamo mnogo zajedničkih osobina, a i razlika.

Zajedničke osobine ogledaju se u sledećem: poreklo materijala, modalni sastav litotipova, indeks porekla i zrelosti, vrsta cementa, akcesorni minerali i njihovo kretanje kroz seriju sedimenata, mesto pojavljivanja sivih litotipova u seriji, konkrecija, proces obezbojavanja i klasifikacija.

Razlike se ogledaju u sledećem: podina gredenskih sedimenata, boja bazalnih slojeva gredena, moćnost sivih litotipova u odnosu na crvene, granulometrijski sastav različitih litotipova, pojava mineralizacije urana, pojava mikroskopski vidljivih fragmenata magmatskih stena i njihove osnovne mase, pojava žica dijabaza i sadržaj organske materije i antracita.

Sumirajući na kraju sve rezultate ispitivanja smatramo da su razlike između gredenskih terigenih sedimenata ovih oblasti proizvod udaljenosti od obalske linije, a s tim u vezi i matičnih stena koje su dale materijal za njihovo stvaranje. Sedimenti ove tri oblasti taloženi su istovremeno, a najbliži obalskoj liniji i matičnim stenama su sedimenti Pohorja.

(Predato za štampu januara 1969. god.)

LITERATURA

1. Jokanović Veselin i dr., 1961: — Prethodni rezultati proučavanja stratigrafije i paleogeografije permskih kontinentalnih formacija u Sloveniji i karakter njihove uranske mineralizacije. (Izveštaj u Fondu stručnih dokumenata, INGRI, Beograd).
2. Karel Grad, Hinterlehner-Ravnik Ana, Ramovš Anton, 1962—1963: — Izveštaj o proučavanju permskih sedimenata Slovenije. Fond stručnih dokumenata INGRI, Beograd.
3. Radošević Staniša, 1961: — Prethodni izveštaj o petrografskom sastavu sedimenata oblasti Žirovskog Vrha kod mesta Gorenja Vas u Sloveniji. Fond stručnih dokumenata INGRI, Beograd.
4. Radošević Staniša, 1963: — Rezultati petroloških ispitivanja permskih sedimenata oblasti Škofje Loke i njihovo upoređenje sa permskim sedimentima Žirovskog Vrha. Fond stručnih dokumenata INGRI, Beograd.
5. Radošević Staniša, 1964: — Upoređenje gredenskih peščara Pohorja sa istim sedimentima Žirovskog Vrha i Škofje Loke. Fond stručnih dokumenata INGRI, Beograd.

Р е з ю м е

СТАНИША РАДОШЕВИЧ*

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДКОВ ПЕРМИ ПОХОРЬЯ И ИХ СРАВНЕНИЕ С ОТЛОЖЕНИЯМИ ПЕРМСКОГО ВОЗРАСТА ШКОФЪЕЙ ЛОКИ И ЖИРОВСКОГО ВРХА

Терригенные осадки Похорья грёденского яруса начиная с карбоновых филлитов подошвы и идя к верхним, более молодым отложениям, созданы следующими литотипами:

1. — красными конгломератами подошвы с прослоями песчанников обыкновенно более крупнозернистых и обломками магматических и метаморфических пород, и прослоями красных алевролитовых песчанников;

2. — серыми, обыкновенно мелкозернистыми песчанниками с прослоями туффозных песчанников и туффитов;

3. — красными конгломератами и брекчиями содержащими высокий процент обломков магматических пород до 20 см;

4. — красные, грубозернистые и конгломератовые песчанники самой большой мощности, с редкими прослоями серых песчанников состава как в точке 2. —

Количество и число акцессорных минералов не велико: из аллотигенных минералов всего больше находится циркон, а затем все меньше и меньше минералы: рутил, амфиболы, гранат, апатит, эпидот, турмалин и титанит. Аутигенные минералы представлены баритом, кальцитом и брукитом. В нижних частях серии преимущественно находятся циркон, гранат, апатит и эпидот, а в верхних циркон, рутил и амфиболы.

В содержании урана, тория и калия нет каких-либо острых перемен в этой серии, кроме в двух случаях, когда дело идет о серых, лимонитизированных песчанниках.

Сравнивая результаты изучения грёденских песчанников Похорья с отложениями того-же возраста Жировского Врха и в окрестностях Шкофъей Локи замечено много общих, а так-же и различных особенностей.

Общие особенности следующие: происхождение материала, модальный состав литотипов, индекс происхождения и зрелости, природа цемента, акцессорные минералы и их присуствие и количества в серии, место нахождения серых литотипов в серии, конкреции, процесс потери окраски и классификация.

Различия заключаются в следующем: подошва грёденских отложений, окраска базальных слоев грёденского яруса, толщина серых литотипов по отношении к красным, гранулометрический состав раз-

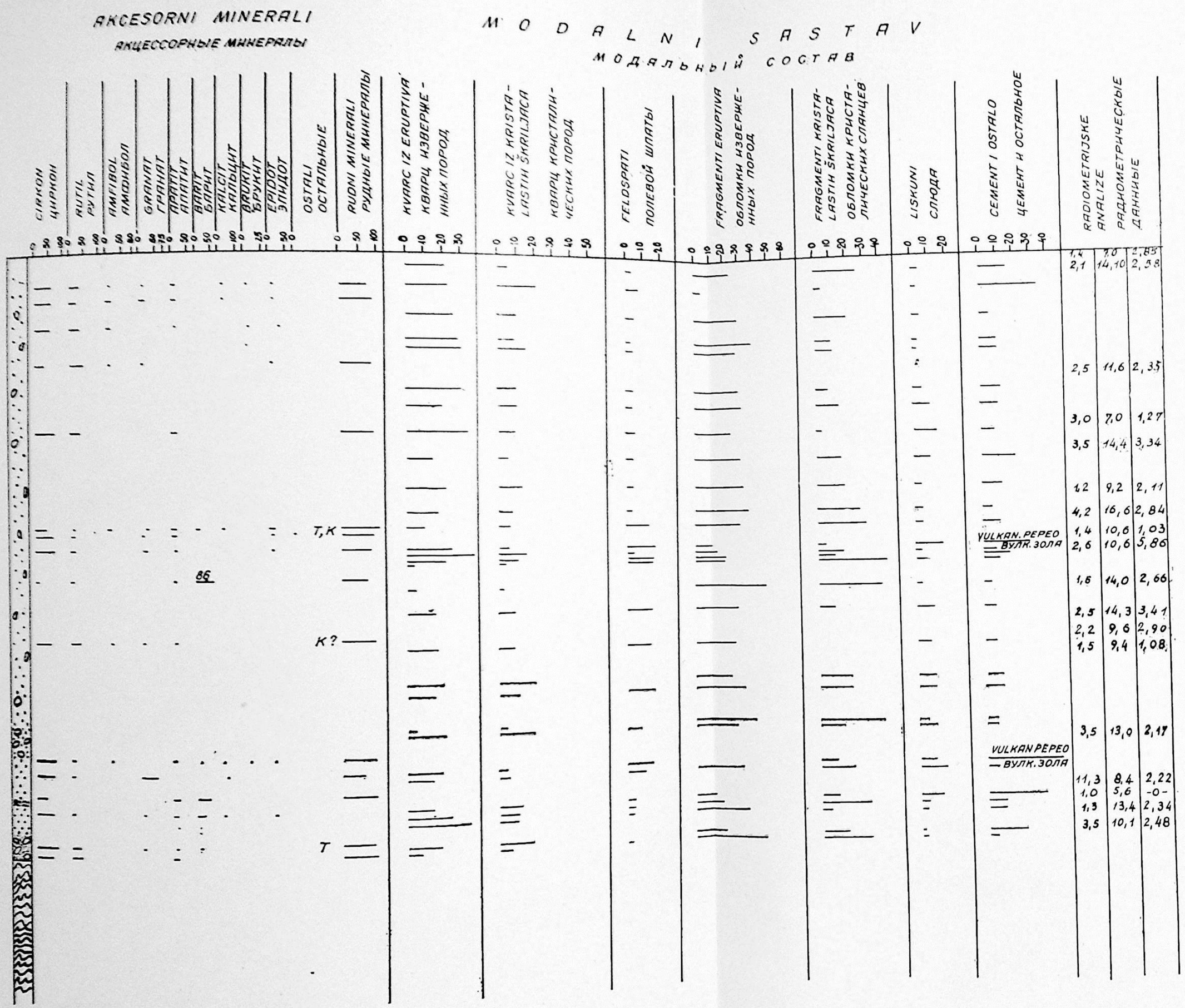
* Институт для иследование ядерного сирья.

личных литотипов, проявления урановой минерализации, микроскопических обломков магматических пород и их основной массы, присуствие жилок диабаза и содержание органических остатков и антрацита.

Резюмируя все результаты исследований считаем что разницы между грёденскими отложениями этих областей являются продуктом отдаленности от береговой линии, а вместе с этим и материнских пород которые дали начало материалу этих отложений. Отложения трех областей осаждались одновременно, но осадки Похорья находились ближе всех метеринским породам и береговой линие.

LITOLOŠKI STUB PERMSKIH SEDIMENATA POHORJA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

КОЛОНКА ЛИТОЛОГИИ ОТЛОЖЕНИЙ ПЕРЬМИ ПОХОРЬЯ И ИХ ОСОБЕННОСТИ



CRVENI PEŠČARI SA FRAGMENTIMA KVARC-PORFIRA I KRISTALASTIH ŠKRILJACA
КРАСНЫЕ ПЕСЧАННИКИ С ОБЛОМКАМИ КВАРЦЕВОГО ПОРФИРА И КРИСТАЛИЧЕСКИХ СЛАНЦЕВ

SIVI SREDNJEZRNI PEŠČARI
СЕРЫЕ СРЕДНЕЗЕРНИСТЫЕ ПЕСЧАННИКИ

CRVENI KONGLOMERATIČNI PEŠČARI
КОНГЛОМЕРАТОВЫЕ ПЕСЧАННИКИ - КРАСНЫЕ

KONGLOMERATI I BREČE
КОНГЛОМЕРАТЫ И БРЕКЧИИ

ALEVROLITI
АЛЕВРОЛИТЫ

KARBONSKI FILITI
ФИЛИТЫ КАРБОНА

* T - TURMALIN
ТУРМАЛИН

K - KORUND
КОРУНД

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

STANIŠA RADOŠEVIĆ

UDK = 550.52:551.735/736 (497.15)

LITOLOŠKE KARAKTERISTIKE PERMO-KARBONSKIH TERIGENIH SEDIMENATA JUGOISTOČNE BOSNE

(sa 1 prilogom)

Permski terigeni sedimenti JI Bosne imaju malo rasprostranjenje. Oni su predstavljeni naizmeničnim smenjivanjem sitnozrnih i srednjezrnih peščara sa alevrolitima koji su često škriljave teksture. Permski sedimenti su karakteristične crvene boje. Pored pomenutih litotipova u njima se javljaju vrlo retki proslojci konglomerata i grubozrnih peščara. Permski terigeni sedimenti ove oblasti sadrže sivozelene partije i tanke proslojke istog habitusa koji su nastali u procesu obezbojavanja. U njima se takođe javlja i nekoliko teksturnih karakteristika kao: kosa slojevitost, ritmička sedimentacija i tragovi kišnih kapi. Na osnovu modalnog sastava oni pripadaju kvarcnim peščarima.

UVOD

Obrađivani teren nalazi se na sekcijama Sarajevo, Zvornik i Plevlja R — 1 : 200.000 odnosno na sekcijama Sarajevo 2 i 4, Višegrad 3 i 4 u razmeri 1 : 50.000.

Teren je ograničen sa severa putem Pale—Goražde i Goražde—Ustiprača odakle granica ide na JI preko Međuriječja i izbija na put Rudo—Plevlja koji čini istočnu granicu terena. Južnu granicu čini put Plevlja—Čajniče, zatim na JZ prema Foči i dalje putem Foča—Kalinovik—Trnovo koji ujedno čini zapadnu granicu terena.

Na terenskom radu pomagali su mi Dragoslav Naumović, mineralog i Svetozar Đorđević, prospektor. Spektrohemijske semikvantitativne analize uradili su mineralozi Stana Maksimović i Milorad Arsenijević. Ovom prilikom izražavam svoju zahvalnost Dr. Valeriji Kostić-Podgorski čiji su mi saveti bili od velike koristi pri ovim ispitivanjima.

GEOLOŠKI SASTAV I TEKTONIKA

U geološkoj građi ovog terena učestvuju sedimenti paleozoika, trijasa, tercijera i kvartara.

Najstariji sedimenti na ovom terenu su tvorevine devona. On je predstavljen prekristalisalim krečnjacima.

Najveće rasprostranjenje u JI Bosni imaju sedimenti mlađe paleozojske starosti, tzv. permo-karbonske tvorevine (lit. 2). Ove tvorevine su predstavljene škriljcima (filiti, argilošisti) škriljavim peščarima i sivim i crvenim peščarima različite veličine zrna, zatim brečama i konglomeratima. U ove sedimente umeću se slojevi crnog krečnjaka. Osnovnu građu terena čine škriljci koji su otkriveni u dolinama reka Prače, Čemernice, Odske, Jošanice, Kolune i Osanice. Škriljci su veoma siromašni fosilnim ostacima sa izuzetkom oblasti Prače gde je još ranije utvrđena donjokarbonska facija i to kulmskog tipa. Tamni filitični škriljci po V. Kostić—Podgorski sadrže bogatu fosilnu faunu (trilobiti, brahiopodi, školjke, puževi i gonijatiti) kulmskog tipa donjeg karbona. U ovim sedimentima javljaju se i rožnaci. Generalni pad ovih škriljaca je ka SI i istoku.

Gornji karbon, prema dosadašnjim radovima, u JI Bosni nije nigde paleontološki dokazan. Pretpostavlja se da serija sivih škriljaca i peščara iznad kulmske serije pripada gornjem karbonu. U višim horizontima preovlađuju peščari crvenkaste i žute boje. Sadrže mngobrojne proslojke škriljaca. Povlatni permski peščari su mrkocrvene boje i oni su škriljavi i alevrolitični.

Permski sedimenti predstavljeni su peščarima koji preovlađuju nad škriljcima. Pored njih javljaju se konglomerati, breče, škriljavi crveni peščari, alevroliti i belerofonski krečnjaci.

V a l e r i j a K o s t i ć - P o d g o r s k a određuje starost permskih sedimenata na osnovu superpozicije slojeva, a reperna tačka za izdvajanje su belerofonski krečnjaci. Tako iznad ovih krečnjaka sedimenti pripadaju trijasu a ispod njih permu. Trijaski sedimenti opkoljavaju permokarbonske sedimente i predstavljeni su crvenim peskovitim škriljcima, crvenim kvarcnim konglomeratima, peščarima, krečnjacima i dolomitima.

Sedimenti jure predstavljeni su peščarima, tufitima i laporovitim škriljcima.

Neogene tvorevine su malo zastupljene i njima pripadaju laporci, laporoviti peščari, zatim krečnjaci oligocena, dok je miocen predstavljen laporcima i glinama.

Magmatske stene su u permokarbonu JI Bosne malo rasprostranjene i javljaju se kao skladovi ili žice. Ovde se radi o kvarc-porfirima. U verfenskim sedimentima otkriveni su proboji porfirita i gabra.

Preovlađuje naborna tektonika sa antiklinalnim i sinklinalnim oblicima. Duž cele oblasti JI Bosne pruža se antiklinala, dinarskog pravca, Nehorići—Osanica—Ifsar. Kontakt paleozoika i trijasa je poremećen i izrasedan.

Ove tektonske strukture su posledica kako hercinskih tako i alpskih orogenih pokreta.

Rudne pojave

Rudnih pojava u ovoj oblasti ima veoma malo i nisu od ekonomskog značaja. U oblasti Koluna permokarbonski sedimenti sadrže manje pojave Mg, Fe, S, Ag, Cu i gipsa u obliku sočiva.

Terenska ispitivanja

Terenskim ispitivanjem nismo konstatovali kompleksan profil razvića perma u ovoj oblasti. U izvesnim profilima i usecima potoka mogu se promatrati samo manji delovi serije permskih terigenih sedimenata.

Tipični permski terigeni sedimenti lepo su otkriveni u usecima puta Ustikolina—Jabuka. Na dva kilometra od Ustikoline crveni alevroliti leže na sivim i crnim jako limonitisanim kvarcnim brečo-konglomeratima. Ispod njih se javljaju argilošisti sa proslojcima sivocrnih peščara. Cela serija je pokrivena trijaskim krečnjacima, krečnjačkim brečama i šupljikavim limonitisanim krečnjacima. Podinu ovim sedimentima čine veoma ubrani sericitski škriljci (Kolunska reka) koji su jako limonitisani i listićavi sa nešto povećanom radioaktivnošću od 19—22 μR/h.

Idući putem od Renovice prema selu Vinči javljaju se lepo uslojeni srednjezrni i sitnozrni peščari sa slojevima alevrolita u kojima se javljaju konkrecije kalcita. U ovim alevrolitima mogu se videti sivozelene partije nastale u procesu obezbojavanja. Obezbojavanje je zahvatilo i crvene peščare. U ovoj seriji zapaža se i proslojak zelenog alevrolita.

Ista ova serija može se videti i na profilu Renovica — Prača kod mesta Podgrab sa mnogobrojnim partijama obezbojavanja crvenih alevrolita.

Permski terigeni sedimenti zastupljeni su i na profilu useka puta Osječani—Jabuka. Posmatrajući ovaj profil može se zaključiti da su ovde zastupljeni sitnozrni permski sedimenti i to: peščari i alevroliti. Preko crnih sericitskih škriljaca, argilošista i peščara permokarbona leže uslojeni šupljikavi crveni peščari sa slabo naglašenom kosom slojevitošću. Zatim dolaze crveni peščari sa tragovima kišnih kapi, alevroliti sa proslojcima sivih alevrolita i na kraju krupnozrni crveni peščari koji kod mesta Osiječani nedostaju i verovatno su erodovani tako, da trijaski krečnjaci, mestimično brečoidni, leže direktno na crvenim i ružičastim alevrolitima.

U useku puta Foča—Gradac (kota 909) na nekoliko mesta se zapažaju umetnute partije ili slojevi permskih sedimenata, verovatno tektonskim putem, u filitičnim sericitskim škriljcima permo-karbona. Kod sela Susješno javljaju se škriljavi crni alevroliti sa proslojcima i partijama zelenih alevrolita verovatno obezbojenih crvenih litotipova. Crveni i sivi sitnozrni peščari nalaze se na 4 km od raskrsnice puteva za Gradac i Foču. Zeleni peščari su ovde nešto više zastupljeni. Iznad ove serije javljaju se trijaski kompaktni krečnjaci od kojih je izgrađena i kota Gradac.

Permokarbonski sedimenti ili podinski delovi crvenih litotipova imaju znatno veće rasprostranjenje i debljinu. Oni su sivocrne boje a retko zelenkasti. Mogu se promatrati na mnogobrojnim profilima između kojih pominjemo Goražde—Ustikolina gde su zastupljeni samo limonitisani argilošisti i vrlo sitnozrni crni peščari. Ista je situacija i na putu idući od Foče prema Ustikolini samo što su ovde ovi litotipovi veoma polomljeni i ubrani.

Permokarbonski sedimenti zastupljeni su i na profilu Renovica—Osiječani. Ovde se javljaju argilošisti, zatim sericitski i muskovitski škriljci koji se smenjuju sa sitnozrnim crnim muskovitskim peščarima. Kod mesta Hranjeni u njima se javljaju partije crvenih listićavih alevrolita sa proslojcima zelene boje nastalih njihovim obezbojavanjem.

Na profilu Goražde—Čajniče zastupljeni su listićavi crvenkasti i sivi škriljci i argilošisti koji su na jednom mestu probijeni eruptivom.

Radioaktivnost sedimenata

Gama premerom terena dobijene su nešto veće vrednosti radioaktivnosti verovatno zbog povećane spontane radioaktivnosti. Radioaktivnost karbonskih peščara kretala se u granicama od 10—14 μR/h. Sericitski škriljci iste starosti, limonitisani i tektonski polomljeni, pokazali su povećanu radioaktivnost oko 25 μR/h i to u oblasti Kolunske reke i sela Jabuke. Povećanu radioaktivnost u istim škriljcima, ali u drugom kraju terena utvrdila je i ekipa za rekognosciranje (lit. 3). Oni su za slične sedimente dobili oko 17 μR/h radioaktivnosti. Permski peščari daju od 13—17 μR/h a konglomerati 8 μR/h. Crveni alevroliti pokazuju od 15—25 μR/h. Krečnjaci imaju najmanje vrednosti i to 4—7 μR/h a eruptivne stene oko 10 μR/h.

LITOFACIJALNO RAZVIĆE

Na prilogu je šematski prikazano litološko razviće permskih i permokarbonskih sedimenata ove oblasti.

Podinu permskim terigenim sedimentima čine peščari i argilošisti koji se naizmenično smenjuju a mestimično se javljaju i konglomerati koje K a t z e r (lit. 2) naziva »verukanom«.

Peščari su većinom sitnog do srednjeg zrna. Crne su boje, mestimično limonitisani. Izgrađuju ih oštroivičasta zrna kvarca, fragmenti kvarcita, rožnaca i kiselih delimično sericitisanih plagioklasa. Između ovih sastojaka javlja se obilje orijentisanih liski muskovita, dok je biotit pretvoren u gvožđevitu materiju. Retko je biotit pretvoren u hlorit. Pored ovih sastojaka zapažene su česte masice i sočiva sericita. U fragmentima rožnaca javljaju se romboedarski preseci dolomita i kalcita. Peščari su često prožeti kvarcnim žicama, mestimično sa kalcitom a javljaju se i limonitske žilice.

Cement peščara može biti bazalni, porni i kontaktni. Čini ga silicijsko-sericitska materija sa primesama gvožđevite materije.

Od akcesornih minerala zapažena su zrna cirkona, rutila, granata, barita, apatita, epidota i turmalina.

Sortirnje sastojaka u sitnozrnim litotipovima je dobro izvršeno.

Na peščarima leži serija crvenih, najčešće sitnozrnih a ređe grubozrnih peščara, koji se naizmenično smenjuju sa alevrolitima često škriljave teksture.

Najčešće su peščari mrkocrvene boje, ređe ružičasti i sivozeleni. Radi se o kvarcnim peščarima izgrađenim od oštroivičastih i delimično zaobljenih zrna kvarca, delimično sericitisanih ili ređe potpuno sericitisanih kiselih plagioklasa, albita i ortoklasa. U njima su vrlo česti fragmenti kvarcita, rožnaca, sericitskog škriljca i krajnje retko fragmenti kvarc-porfira i njegove osnovne mase. Muskovit je prisutan često u orijentisanim liskama. Hlorit je redak. Biotit je pretvoren u hlorit i gvožđevitu materiju. Cement je kod sitnozrnih tipova bazalnog ređe pornog i kontaktnog tipa dok je kod krupnozrnijih kontaktnog i pornog tipa. Obično je to gvožđevito-sericitska materija, dok je u obezbojenim zelenim partijama sericitsko-silicijski. Sivozeleni delovi, partije i proslojci su istog habitusa kao i crveni litotipovi i izrazit su primer njihovog obezbojavanja.

Od akcesornih minerala preovlađuje cirkon i rutil a zapaženi su i granat, barit, apatit, epidot, turmalin i staurolit. Rudni minerali su vrlo česti. U peščarima se često sreću masice karbonatne materije a ređe dolomit. Od teksturnih karakteristika litotipova može se pomenuti slabo naglašena kosa slojevitost crvenih sitnozrnih peščara kod sela Jabuke, zatim tragovi kišnih kapi kao i naizmenično smenjivanje sitnozrnih i krupnozrnih proslojaka koji su proizvod ritmičke sedimentacije. Debljina ovih proslojaka ne prelazi 0,5 cm a ova ritmičnost je zapažena u jednom proslojku debljine 10 cm.

Sortiranje sastojaka je kod sitnozrnih litotipova dobro izvršeno dok je kod krupnozrnijih slabo.

Modalni sastav im je sledeći (vidi prilog):

	1	2	3	4	5
Kvarc	45,32	55,24	54,69	57,88	36,93%
Feldspati	3,72	2,16	2,24	10,65	2,59
Liskuni	12,99	10,91	8,16	7,88	4,21
Fragmenti stena	14,11	5,36	15,31	6,95	22,67
Cement i ostalo	23,85	26,33	19,59	16,63	33,59
	99,99	100,00	99,99	99,99	99,99%

Alevroliti koji su često škriljave tekstur zastupljeni su isto kao i peščari. Izgrađuje ih obično vrlo sitnozrna gvožđevito-sericitska materija koja čini bazalni cement raspršenim zaobljenim zrnima kvarca i nekad veoma čestim sitnim liskama muskovita. Feldspati su vrlo retki i delimično sericitisani. Može se reći da je hlorit u njima redak dok su masice i žilice kalcita česte. Kvarcne žice u njima su česte.

Zeleni obezbojeni delovi i proslojci su istog sastava kao i matična stena samo što je cement ovde izgrađen od sericitiske materije. U ovim delovima hlorit je nešto češći a zapaženi su u izvesnim primercima i njegovi fibrozni agregati.

Za alevrolite je karakteristično da su često uškriljeni kada čine prelaz ka argilitima ili pak trošni i raspadnuti da prelaze u glinu. Vrlo su česta sitna zrna rudnog minerala koji je fino dispergovan po celoj masi stene. Akcesorni minerali su isti kao kod peščara, samo je, kao po pravilu, u njima znatno manji sadržaj cirkona i rutila, a u izvesnim primercima ih uopšte i nema. Na njihov račun raste sadržaj granata i apatita.

Sortiranje sastojaka je izvanredno dobro izvršeno.

Konglomerati i breče su krajnje retki litotipovi. Kvarcnog su tipa i izgrađeni su redovno od fragmenata kvarcita, rožnaca, argilošista i drugih škriljaca. Vrlo retko se u njima mogu videti fragmenti kvarc-porfira ili njegove osnovne mase. Cement im je kontaktnog i pornog tipa i čini ga gvožđevito-sericitska materija.

Kao završni član permskih crvenih peščara i alevrolita javljaju se belerofonski krečnjaci iznad kojih leže trijaski peščari, škriljci, krečnjaci i dolomiti.

Geohemijske karakteristike i sadržaj urana, torijuma i kalijuma

U geohemijskom pogledu tj. u sadržaju mikroelemenata ne nailazimo na njihov anomalni sadržaj u ovim sedimentima. Upoređenja radi na prilogu je prikazano kretanje V, Ba, Zr, Cr i Sr kroz seriju permskih terigenih sedimenata. Sadržaj vanadijuma kreće se od tragova do 50 ppm. U gornjim delovima serije vanadijum pokazuje neznatnu tendenciju povećanja. Barijum se kroz seriju održava u približnim vrednostima i to od 100 do 300 ppm. Sadržaj cirkonijuma je u tesnoj vezi sa sadržajem cirkona. Nikl, hrom i stroncijum pokazuju takođe prilično ujednačen sadržaj kroz seriju i sadržaj im se kreće od 20—50 ppm. Pored ovih, u primercima ove oblasti, konstatovani su i sledeći elementi: Cu, Pb, Ga, Y, Co, Sc, La i Sn.

Povećanu radioaktivnost na terenu nisu potvrdile radiometrijske analize. Suprotno očekivanju, sericitski škriljci karbonske starosti dali su 3—6 gr/t urana, dok karbonski peščari daju 2—3,5 gr/t. Crveni permski alevroliti i njihovi obezbojeni delovi imaju neznatno povećan sadržaj urana. Obično se ovaj sadržaj kreće od 4—6 gr/t sa izuzetkom dva primerka od kojih je jedan dao 7 gr/t a drugi 10 gr/t. Povećani sadržaji urana u ovim primercima mogli bi se dovesti u vezu sa povećanom količinom cirkona i apatita. Upoređivanjem sadržaja apatita u primercima sa povećanim sadržajem urana zapaža se da ukoliko primerak sadrži više apatita raste i sadržaj urana i obrnuto. Crveni permski peščari sadrže od 2—5 gr/t a konglomerati do 2 gr/t urana.

Sadržaj torijuma se kreće od 7—21 gr/t. Zapaža se veći sadržaj torijuma u permskim terigenim sedimentima od njegovog prisustva u karbonskim škriljcima i peščarima. Procenat kalijuma varira u granicama od 2—5% a retko je ispod 2% ili iznad 5%.

ZAKLJUČAK

Permski terigeni sedimenti u JI Bosni imaju veoma malo rasprostranjenje.

Predstavljeni su naizmeničnim smenjivanjem peščara najčešće sitnog do srednjeg zrna sa alevrolitima koji su često škriljave teksture. Grubozrni peščari i konglomerati su retki. Permski sedimenti su karakteristične crvene boje. Sadrže vrlo česte partije pa čak i proslojke zelene boje nastale u procesu obezbojavanja crvenih litotipova.

Oblik mineralnih sastojaka je u sitnozrnijim litotipovima zaobljen dok je u krupnozrnijim oštroivičast ili delimično zaobljen. Ovakav oblik zrna ukazuje na nešto duži transport materijala. Matične stene, od kojih su postali ovi sedimenti, njihovom erozijom, bile su predstavljene starijim sedimentima, kvarcitima, rožnacima a vrlo retko eruptivnim stenama što je i normalno za sedimente koji su stvarani u relativno mirnoj sredini sedimentacije.

Na osnovu modalnog sastava permski terigeni sedimenti JI Bosne su kvarcnog tipa i na dijagramu R u h i n-a dolaze u polje kvarcnih peščara a samo jedan primerak u feldspatsko-kvarcne peščare.

Gama premerom terena dobijene su veće vrednosti radioaktivnosti za permske alevrolite, peščare i karbonske škriljce ali radiometrijskim analizama nije ustanovljen povećan sadržaj urana.

(Predato za štampu januara 1968. g.)

LITERATURA

1. Jurković Ivan, 1956: — Mineralne parageneze srednjebosanskog rudogorja, sa osobitim osvrtom na tetraedrit. Doktorska disertacija, Zagreb.
2. Katzer Friedrich, 1926: — Geologija Bosne i Hercegovine, Sarajevo.
3. Milutinović Dušan i Stanić Branislav, 1961: — Izveštaj o geološkom i radiometrijskom rekognosciranju terena Bosne, JZ Hrvatske i Istočne Crne Gore. Fond stručnih dokumenata, Beograd.
4. Radoševiš Staniša, 1965: — Proučavanje prekenozojskih sedimenata Zapadne Srbije (drinski paleozoik), Centralne Bosne i Jugoistočne Bosne. Fond stručnih dokumenata, Beograd.

Zusammenfassung

STANIŠA RADOŠEVIĆ*

LITOLOGISCHE BESCHAFFENHEIT KARBON-PERMISCHER ABLAGERUNGEN IN SÜD — ÖSTLICHEM BOSNIEN (JUGOSLAVIEN)

Im südöstilchen Teil von Bosnien sind die Permablagerungen selten und wenig verbreitet. Sie sind aus miteinander abwechselnden, klein — und mittelkörnigem Sandstein und schieferigem Alevrolit aufgebaut. Grobkörniger Sandstein und Konglomerate sind selten.

Die Permablagerungen haben eine typische rote Farbe. Durch Entfärbungsprozesse sind in diesen roten Litotypen des Perm grüne Flecke und sogar Zwischenlagen entstanden. Die Textureigenschaften roter Litotypen sind: schräge Schichtung, rytmische Sedimentation und Regentropfenspuren.

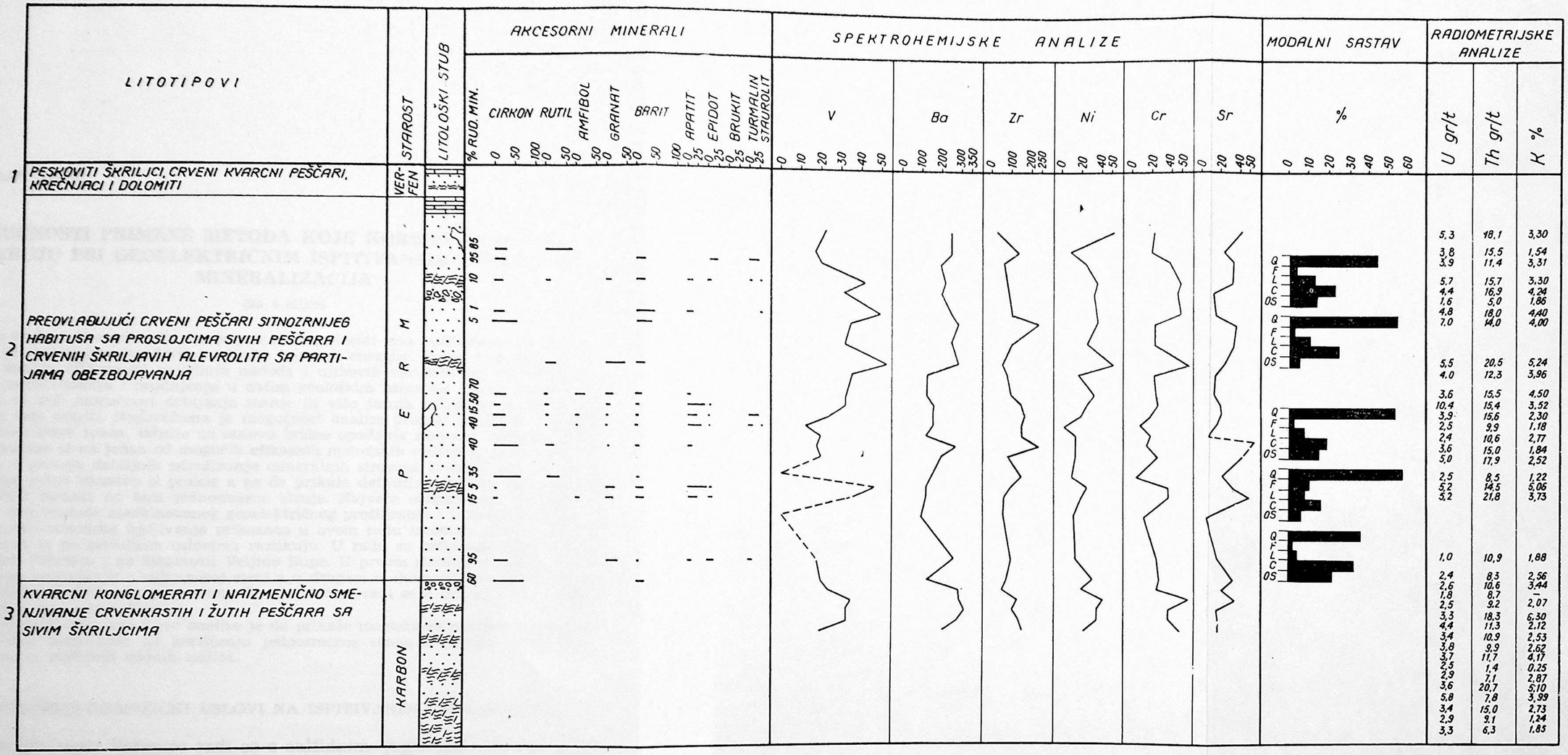
Zur Permzeit war die Erosion der älteren Sedimente sehr stark, so dass im permischen Ablagerungsbecken eine grosse Menge von klastischen Körnern abgesetzt wurde. Sie wurden auf ziemlich langem Wege transportiert, denn ihre Kanten sind abgerundet, und besonders in feinkörnigen Partien sind die klastischen Körner auch gut sortiert. Grosskörnigere Partien der Permsedimente sind aus eckigen und scharfkantigen klastischen Mineralkörnern — und Bruchstücken aufgebaut.

Die klastischen Mineralkörner permischer Sedimente entstammen erodierten älteren Formationen die aus Quarziten, Hornfels und selten Eruptivgesteinen (Quarzporphyr) aufgebaut waren.

Der Modalanalyse nach gehören die Permsandsteine Südostbosniens Quarztypen an; auf dem Ruchin — Diagramm liegen ale Sandsteinexemplare, ausser einem, im Feld der Quarzsandsteine; nur ein einziges Exemplar liegt im Feld der Feldspatquarzsandsteine.

* Institut für Untersuchungen der nuclearen und anderen Rohstoffen, Beograd.

ŠEMATSKI PRIKAZ LITOLOŠKOG RAZVIĆA PERMO-KARBONSKIH SEDIMENATA JUGOISTOČNE BOSNE – SCHEMATISCHE DARSTELLUNG LITHOLOGISCHER ENTWICKLUNG PERMO-KARBONISCHER ABLAGERUNGEN IN SÜDOSTBOSNIEN



1 – Sandiger Schifer, roter Quarzsandstein, Kalkstein und Dolomit

2 – Überwiegend roter, feinkörnigerer Sandstein mit Einlagerungen von grauem Sandstein und rotem, schieferigem Alevrolit mit Antfärbungspartien

3 – Quarzkonglomerat und Abwechslung von rötlichem und gelbem Sandstein mit grauem Schiefer

Q – Kvarc – Quarz
F – Feldspat – Feldspat
L – Liskun – Glimmer
C – Cement i ostalo – Zement u.a.
OS – Odlomci stena – Gesteinsbruchstücke

tr – Tragovi – Spuren
. – Količine manje od 5% – Weniger als 5%
⊘ – Partije obezbojavanja – Entfärbungspartien

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

VLADAN SIMIĆ

UDK = 550.837

MOGUČNOSTI PRIMENE METODA KOJE KORISTE JEDNOSMERNU STRUJU PRI GEOELEKTRIČNIM ISPITIVANJIMA SULFIDNIH MINERALIZACIJA

(sa 4 slike)

S a d r ž a j: U ovom radu dat je prikaz mogućnosti niza geofizičkih metoda ispitivanja pri korišćenju standardne tehnike i izvora energije. Pored toga data je uporedna analiza efikasnosti pojedinih metoda i njihovih varijanti pri otkrivanju sulfidnih mineralizacija i orudnjenja u datim geološkim uslovima. Izneti su primeri u kojima se vidi mogućnost dobijanja manje ili više jasnih indikacija geoloških tela koja se žele otkriti. Nagoveštena je mogućnost analize prirode uzročnika indikacije na osnovu krive spada, tačnije na osnovu brzine opadanja izazvane polarizacije. Isto tako ukazano je na jedan od mogućih efikasnih metodskih redosleda geofizičkih ispitivanja u procesu detaljnih istraživanja mineralnih sirovina. U celini rad ima za cilj da iznese jedno iskustvo iz prakse a ne da prikaže definitivno rešenje primene geoelektričnih metoda na bazi jednosmerne struje. Najveće mogućnosti i najbolje rezultate daju metode kombinovanog geoelektričnog profiliranja i izazvane polarizacije.

Opitno-metodska ispitivanja prikazana u ovom radu izvedena su na više lokalnosti koji se po geološkim uslovima razlikuju. U radu su prikazana ispitivanja na lokalnosti Pečenica i na lokalnosti Veljine Rupe. U prvom slučaju se radi o olovno-cinkovom orudnjenju u vulkanskoj steni a u drugom o olovno-cinkovom orudnjenju u hloritskim škriljcima i gnajsevima. U oba slučaja radi se o žičnom i žično-impregnacionom tipu mineralizacije.

Cilj ispitivanja kao i ove analize je da prikaže mogućnosti primene geoelektričnih metoda zasnovanih na korišćenju jednosmerne struje u procesu ispitivanja i istraživanja sulfidnih rudnih ležišta.

GEOLOŠKO-GEOFIZIČKI USLOVI NA ISPITIVANIM LOKALNOSTIMA

Na lokalnosti Pečenica radi se o sulfidnim (uglavnom Pb+Zn i Cu) orudnjenjima tipa rudnih žica i impregnacija.

Okolna stena je ignimbrit dacitskog sastava. Stena je, kad je sveža čvrsta, svetlosive boje, gustine oko 2,5 gr/cm^3, a specifični električni otpor se kreće od 300—600 ommetara. U blizini sulfidnih orudnjenja i mineralizacija redovno je slabije ili jače hidrotermalno izmenjena (kaolinizacija) a bliže samim rudnim telima i jače ili slabije piritisana.

Rudna tela su obično u obliku žica, sočiva, ređe impregnacija ili kombinacija ova tri tipa i javljaju se redovno unutar tektonski zdrobljenih zona kao deo punjenja ovih.

Najčešći sastav je galenit, sfalerit, pirit i halkopirit. Gang ovih rudnih tela čine siderit, barit i retko kvarc. Mestimično se zapažaju i salbande od tektonske gline.

Skoro redovno ove zone drobljenja duž kojih je došlo i do procesa orudnjavanja nisu potpuno zatvorene tj. vodopropusne su i uglavnom kontrolišu kretanje podzemnih voda.

Ove zone se često po pružanju mogu pratiti i više stotina metara a zaležu vrlo strmo. Padni ugao se kreće od 75—90 stepeni.

Oksidacija nije izrazita niti je duboko prodrla. Duž zona razlamanja oksidacija je mnogo dublja.

Najčešće je debljina rastresitog pokrivača mala i ne prelazi nekoliko metara. Pojedine zone mineralizacije međutim izbijaju i na samu površinu.

Debljina ovih zona mineralizacije je oko 1—2 m dok oreol izmena okolne stene nije veći od 10 m.

Ukupno uzev može se reći da debljina zone, u kojoj je došlo do unošenja sulfida i do hidrotermalnih izmena, retko prelazi 10 m. Prividni, specifični električni otpor ovako definisanih zona kreće se od 50—200 ommetara.

Što se tiče lokalnosti Veljine Rupe razlika je utoliko što je okolna stena škriljac, najčešće hloritski. To je stena jako škriljava, zelene do sive boje, trošna, a specifični električni otpor joj se kreće od 600—1000 Ωm. Žično punjenje se razlikuje od žičnog punjenja na lokalnosti Pečenica utoliko što ima više kvarca. Prividna električna otpornost mineralizovane zone je ispod 400 ommetara.

U oba slučaja teren je pokriven i pogodan za ostvarivanje električnih kontakata bilo kojim tipom elektroda.

METODSKO — TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

U procesu rada korišćeni su: autokompenzator TK-1 za direktni kontakt, kartiranje kombinovano i simetrično; sopstveni potencijal, zatim uređaj IP-1 i TK-1 sa vremenskim programerom za IP ispitivanja.

Uređaj TK-1 je autokompenzator namenjen za merenje struje i napona pri geofizičkim ispitivanjima primenom izvora jednosmerne struje. Njegov princip rada zasniva se na autokompenzaciji posredstvom varira-nja struje u izlaznom kolu pojačivača čije promene su direktno proporcionalne merenoj potencijalnoj razlici između prijemnih elektroda.

Pored portabilnosti i veoma jednostavnog rukovanja ovaj instrument ima mogućnost registrovanja sa zadovoljavajućom tačnošću napona reda veličine 0,3 mV. Ulazni otpor za sva područja nije manji od 1 megaoma. Ova karakteristika omogućava dovoljno tačna merenja i pri veoma visokim električnim otporima uzemljenja prijemnih elektroda što je redovno slučaj na terenima gde je tlo suvo, peskovito, ili se radi o siparima i osulinama. Brzina rada je velika zahvaljujući direktnom očitavanju rezultata.

Još uvek, međutim, ostaje nerešen problem tačnog očitavanja niskih vrednosti napona (ispod 0,3 mV) pri radu u uslovima menjanja smetajućih polja.

S obzirom na mogućnost merenja veoma niskih napona, bilo je moguće raditi sa relativno slabim izvorima jednosmerne struje. To su najčešće bile baterije od 120 V pri čemu obično nije korišćen maksimalni napon. Reproduktivnost rezultata koja se postiže u praksi je u granicama $\pm$ 5%.

Za ispitivanja primenom metode izazvane polarizacije korišćen je isti instrument (TK-1) uz dodatni uređaj koji je ustvari vremenski programer. Pomoću ovog dodatnog uređaja reguliše se vreme trajanja puštanja struje u tle, vreme zadrške kao i momenat očitanja izazvanog napona. Vreme napajanja (vremenski period kada struja teče u tle) se može menjati po želji u granicama od 1—60 sec. Vreme zadrške (vremenski period od momenta prekida predajnog kola do momenta kad se registruje izazvani napon) može se odabrati po želji od mogućih 0,5, 1, 2 i 5 sec. Posle isteka odabranog vremena zadrške očitava se direktno izazvani napon na mernom miliampermetru pri odgovarajućem opsegu. Prema potrebi bira se opseg od sledećih mogućih opsega 1, 3, 10, 30, 100, 1000 mV.

Primarni napon i struja čitaju se pri istim opsezima a u toku napajanja tla. Opsezi za struju su deset puta veći od naznačenih.

Sam programer po težini i dimenzijama odgovara osnovnom instrumentu TK-1. To znači da je ukupno težina uređaja za merenja izazvanih potencijala oko 7 kg, što je neuporedivo manje u poređenju sa standardnim uređajima za ispitivanja izazvanih napona.

Drugi uređaj korišćen u ovim opitno-metodskim ispitivanjima je aparatura IP-1 namenjena prvenstveno za ispitivanja primenom metode izazvane polarizacije. Vremensko programiranje je isto kao kod goreopisane a razlike su u tome što je moguće koristiti struje veće od jednog ampera dok kod vremenskog programera korišćenog uz TK-1 postoji tehničko ograničenje (vrsta releja) u tom pogledu. To istovremeno znači da se uz ovu aparaturu, pored baterijskih izvora, mogu koristiti i izvori daleko veće snage kao što su agregati od više kilovata, naravno uz odgovarajuće predajno kolo. Predajno kolo uz IP-1 omogućava korišćene baterijskih izvora, generatora jednosmerne struje kao i trofaznih generatora. Baš iz tih razloga težina ovog uređaja prelazi deset i više puta težinu uređaja TK-1 sa programerom.

I jedan i drugi uređaj omogućavaju merenja sopstvenog i veštačkog potencijala.

Prijemne elektrode korišćene pri ispitivanjima primenom IP su bile nepolarizujuće elektrode od bakra u rastvoru bakra sulfata, a predajne čelični špicevi kružnog preseka prečnika 20 mm. Broj korišćenih špiceva za jedno uzemljenje kretao se od 3—20 komada.

Međusobno rastojanje špiceva u složenom uzemljenju bilo je 1—8 puta veće od dužine zabijenog dela špica. Sa nekoliko proba utvrdili smo da bi ovo rastojanje trebalo da bude oko 2 puta veće od dužine zabijenog dela špica. Isto tako u cilju održavanja konstantne struje u predajnom

kolu vršili smo probe sa različitim dubinama zabijanja špiceva u zemlju. Pri tom smo konstatovali da gustina struje treba da se kreće u granicama od 0,5 do 1,0 mA/cm² površine dodira elektrode i tla. Praktično to znači da se kroz jedan špic može puštati struja ne veća od 0,2 Ampera.

Problem opasnosti po život pri radu sa visokim naponima naročito je izražen u primeni metoda kao što je izazvana polarizacija, medutim, ovde o tome nećemo govoriti, samo ga pominjemo zbog izuzetne važnosti.

REZULTATI ISPITIVANJA

Izlaganju rezultata opitno-metodskih ispitivanja pristupićemo sledećim redosledom. Najpre će biti izloženi rezultati primene metode sopstvenog potencijala i raznih varijanti geoelektričnog kartiranja a zatim rezultati ispitivanja primenom metode direktnog kontakta i primenjenih varijanti metoda izazvane polarizacije.

Ovaj redosled smatramo prirodnim i u pogledu primene u procesu ispitivanja jedne oblasti idući od regionalnijih ispitivanja ka rešavanju konkretnih izdvojenih problema.

Ispitivanja primenom metode sopstvenog potencijala data na slikama (2, 3, 4) izvedena su duž profila pri merenju na svakih 10 metara. Maksimalne promene prirodnog električnog polja duž merenog profila ne prelaze 50 mV. Ovo nedvosmisleno ukazuje da rudna tela nisu jače oksidisana kao i da uslovi režima oksidaciono-redukcionih procesa nisu povoljni za stvaranje intenzivnog prirodnog električnog polja. Po našem mišljenju pre svega treba imati u vidu da se radi o galenitsko-sfaleritskim orudnjenjima koja su diskontinualna u prostoru.

Severna mineralizovana zona se ne bi mogla sa sigurnošću indicirati dok bi se južna zona mogla indicirati veoma slabim indikacijama reda veličine — 30 mV.

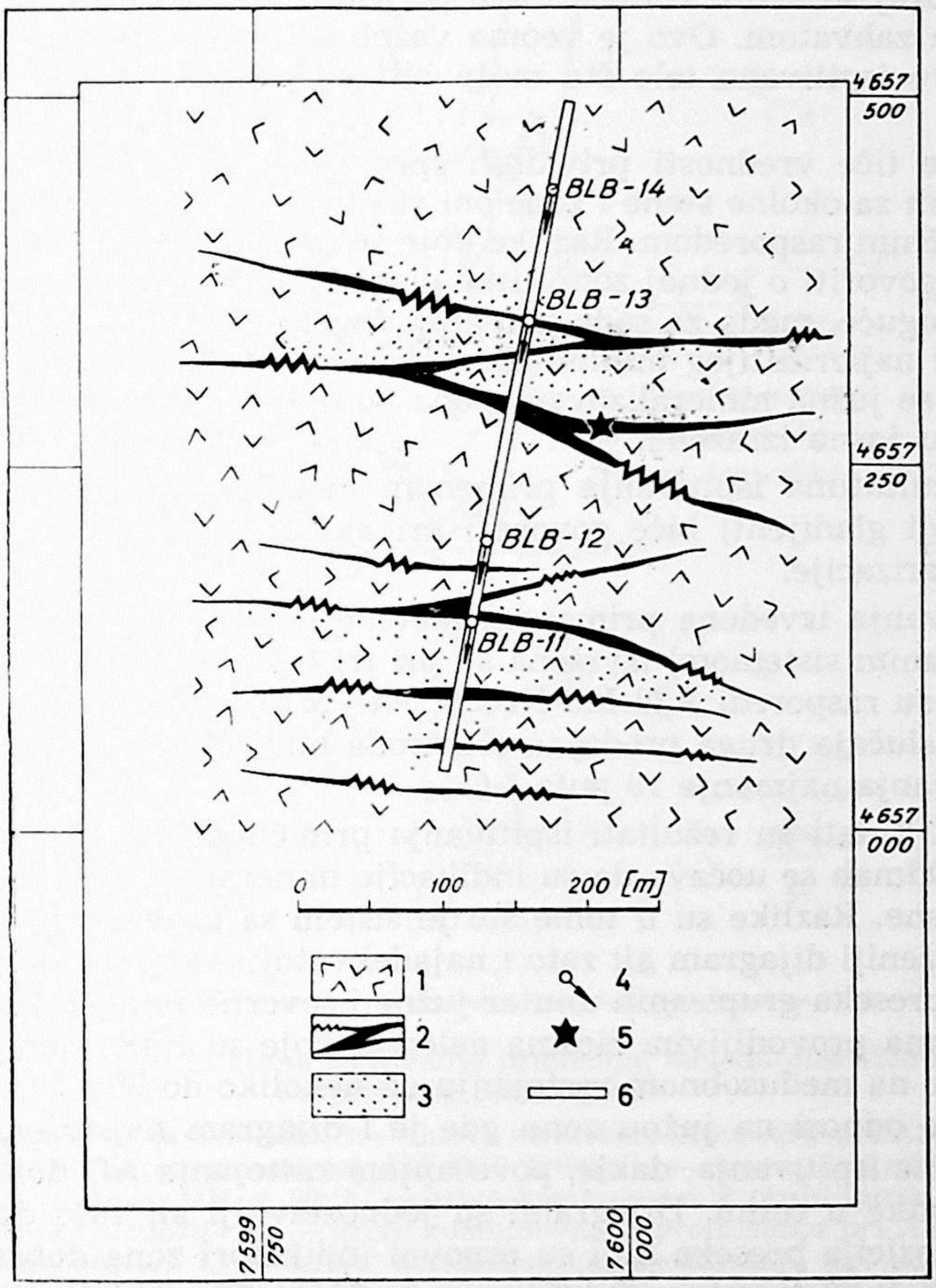
Ovo se odnosi na južnu mineralizovanu zonu koja je pre svega šira od severne a razlikuje se od nje i po tome što je piritizacija intenzivnija a i oreoli hidrotermalnih izmena okolnih stena širi. Nasuprot ovome u severnoj mineralizovanoj zoni rudne žice galenitsko-sfaleritske praćene su daleko slabijom piritizacijom i izmenama okolne stene. Intenzitet anomalije sopstvenog potencijala ne prelazi —10 mV i sigurno je da se ovakve mineralizovane zone ne bi mogle otkriti primenom metode sopstvenog potencijala.

Ispitivanja primenom metoda geoelektričnog kartiranja izveli smo posebno u cilju kako otkrivanja mogućnosti primene ovih metoda tako i u cilju uporedne analize mogućnosti različitih varijanti ove metode. Primenjena su ispitivanja primenom simetričnog rasporeda i to varijanta A20 M10 N20 B i varijanta sa dubljim zahvatom i to A40 M10 N40 B. U oba slučaja korak pomeranja sistema iznosio je 10 metara.

Rezultati su prikazani na sl. 2. Oba dijagrama su praktično ista i nedvosmisleno ukazuju na prisustvo dveju zona niske električne otpornosti.

Indikacije ovih zona isto tako jasno ukazuju na to da su zone složene, tačnije da se sastoje iz sredina različite električne otpornosti. Pored

indikacija severne i južne zone niske električne otpornosti čije su širine oko 80—100 m uočava se i zona visoke električne otpornosti između njih širine ne veće od 150 m. Rezultati ispitivanja rasporedom sa dubljim zahvatom ukazuju na prostiranje zona niske otpornosti po dubini kao i sužavanje električki visokootporne sredine između njih. Pomeranje minimuma dobijenih primenom rasporeda sa dubljim zahvatom ukazuje na pravac pada zona u severno polje.



Sl. 1. Položaj opitnog profila Pečenica

1. — Ignimbrit; 2. — rudne žice; 3. — sulfidne impregnacije; 4. — bušotine; 5. — mesto direktnog kontakta; — 6. opitni profil.

Fig. 1. Position of test section Pečenica

1. — Ignimbrite; 2. — ore vein; 3. — sulphide impregnations; 4. — drill hole; 5. — place of direct contact with ore body; 6. — test section.

Ispitivanja primenom metode geoelektričnog kartiranja sa stalnim položajem predajnih elektroda (srednji gradijent) dala su praktično iste rezultate. Primenjen je raspored AB-1000 metara MN=20 m. Merenja su izvedena u srednjem delu sistema i išlo se do 250 m od predajnih elektroda na obe strane. Kao što se sa sl. 2 vidi, predajne elektrode su postavljene tako da je ispitivani deo pokrivao najinteresantnije područje pri najvećoj dubini ispitivanja. Dobijeni dijagram prividnog specifičnog električnog otpora jasno ukazuje na zonu niske električne otpornosti čija širina i položaj su skoro istovetni kao pri ispitivanju sa deset puta manjim dubinskim zahvatom. Ovo je veoma važno sa gledišta procene dubine do koje dopire ispitivano telo što može biti od prvorazrednog ekonomskog značaja.

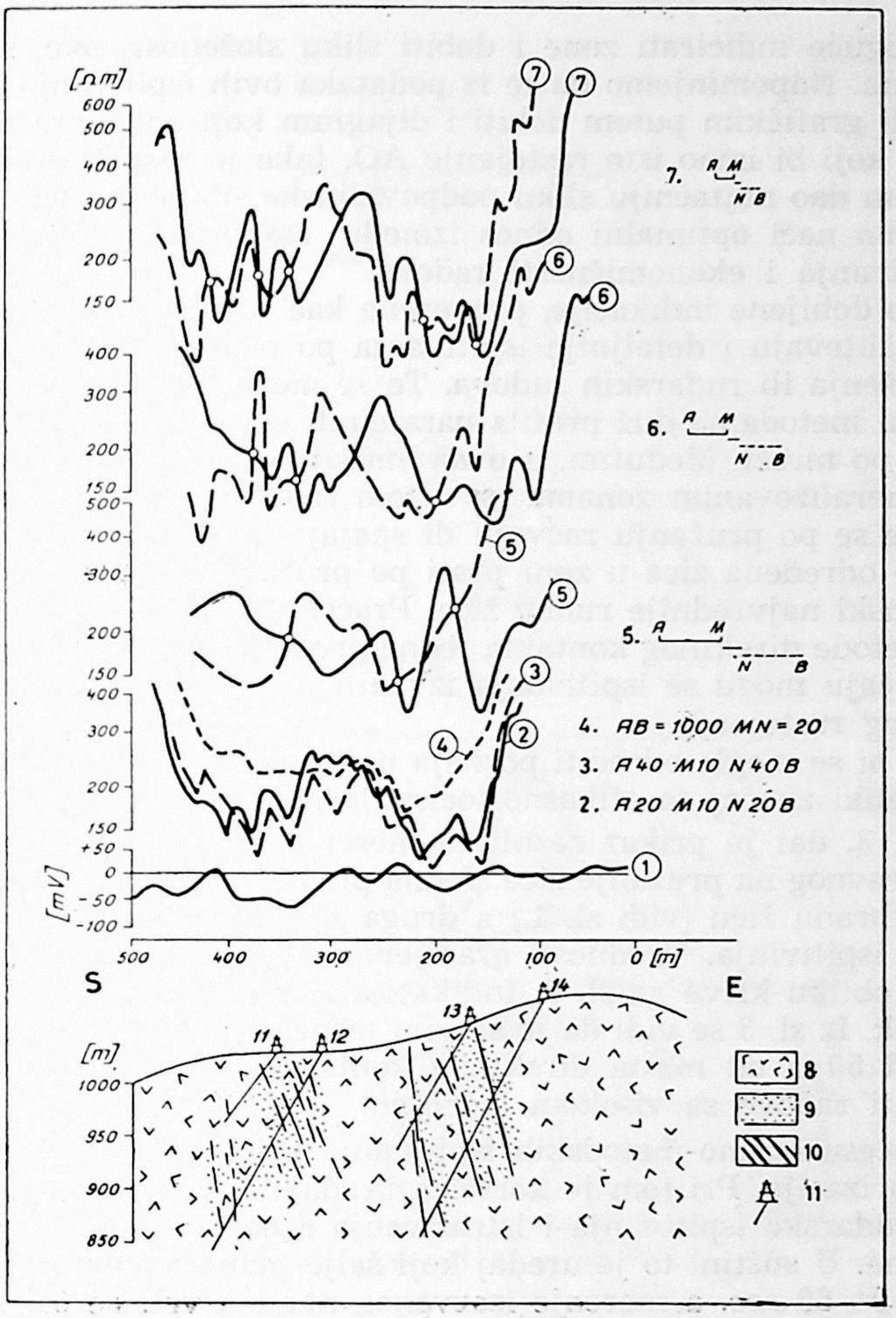
Što se tiče vrednosti prividnih specifičnih električnih otpora kao i odnosa ovih za okolne stene i zone oni su slični ili isti kao i pri ispitivanju sa simetričnim rasporedom. Razlike koje se uočavaju su u tome da se ovde pre može govoriti o jednoj zoni niske električne otpornosti, nego o dvema, što je i moguće, mada za sada nemamo dovoljno dokaza za to. S obzirom na položaj najizrazitijeg minimuma električne otpornosti može se pretpostaviti da se južna mineralizovana zona po dubini spaja sa severnom koja je po padu jasno izražena.

O rezultatima ispitivanja primenom metode geoelektričnog kartiranja (srednji gladijent) biće govora i pri analizi rezultata ispitivanja izazvane polarizacije.

Ispitivanja izvedena primenom metode geoelektričnog kartiranja (sa kombinovanim sistemom) izvršena su pri tri različita rastojanja elektroda. Korišćeni su rasporedi A20 M5 N20 B, A40 M10 N40 B i A60 M20 N60 B. U sva tri slučaja druga predajna elektroda bila je na udaljenosti od profila ispitivanja najmanje 10 puta AO.

Na sl. 2 dati su rezultati ispitivanja primenom sva tri pomenuta rasporeda. Odmah se uočava da su indikacije mineralizovanih zona u sva tri slučaja jasne. Razlike su u tome što je sistem sa najmanjim AO=22,5 m dao najsloženiji dijagram ali zato i najadekvatniji složenoj slici zona. Najveći broj preseka grupisanih unutar južne i severne zone odgovaraju električno veoma provodljivim žicama galenita koje su retko deblje od 0,3 m a nalaze se na međusobnom rastojanju od nekoliko do 20—30 metara. Ovo se naročito odnosi na južnu zonu gde je i dijagram najsloženiji. Povećanjem dubine ispitivanja, dakle, povećanjem rastojanja AO dolazi do uprošćavanja slike u celini. Dijagrami su jednostavniji ali zato dolazi do pomeranja pozicija preseka koji su osnovni indikatori zona dobre električne provodljivosti. Čak pri najdubljem nivou (AO=70 m) došlo je do maksimalnog uprošćavanja jer se praktično samo dva preseka uočavaju. Istovremeno se gubi i smanjuje po intenzitetu indikacija zone visoke električne otpornosti koja odvaja severnu i južnu grupu preseka.

Indikacija kontakta dveju sredina na severnom kraju profila isto tako nije dovoljno indikativna kao u slučaju dva sistema sa manjom dubinom ispitivanja. Prednost sistema sa najvećom dubinom ispitivanja može biti samo u tome što je jedino pri ovom rasporedu dobijena jasna indikacija pravca pada zone dobre električne provodljivosti. Dakle, u datom slučaju



Sl. 2. Opitni profil sa rezultatima ispitivanja primenom metoda električnog kartiranja i sopstvenog potencijala.

1. — Kriva sopstvenog potencijala; 2. — kriva električne otpornosti pri A20 M10 N20B; 3. — Kriva električne otpornosti pri A40 M10 N40B; 4. — kriva električne otpornosti pri AB = 1000 (fiksno): MN = 20; 5. — krive kombinovanog profiliranja pri A60 M20 N50B i C u »beskonačnosti«; 6. — krive kombinovanog profiliranja pri A40 M10 N40B i C u »beskonačnosti«; 7. — kriva kombinovanog profiliranja pri A20 M5 N20B i C u »beskonačnosti«; 8. — ignimbriti; 9. — sulfidne impregnacije; 10. — sulfidne žice; 11 — bušotine.

Fig. 2. Test section with the results of electrical maping and self potential investigations.

1. — Curve of self potential; 2. — resistivity curve for electrods array A20 M10 N20B; 3. — resistivity curve for electrodes array A40 M10 N40B; — resistivity curve for electrodes array AB = 1000 m (fixed) and MN = 20 m; 5. — resistivity curves for combined profiling with A60 M20 N60B and C in infinity; 6. — resistivity curves for combined profiling with A40 M10 N40B and C in infinity; 7. — resistivity curve for combined profiling with A20 M5 N20B and C in infinity; 8. — ignimbrite; 9. — sulphyde veins; 11. — drill holes.

bilo je moguće indicirati zone i dobiti sliku složenosti ove, širinu kao i pravac pada. Napominjemo da je iz podataka ovih ispitivanja moguće računskim ili grafičkim putem dobiti i dijagram koji odgovara simetričnom rasporedu koji bi imao isto rastojanje AO. Iako je raspored elektroda pri AO=22,5 m dao najtačniju sliku podpovršinske situacije, ipak se u praksi mora obično naći optimalni odnos između rasporeda, terenskih uslova, cilja ispitivanja i ekonomičnosti radova.

Ovako dobijene indikacije, proverene kao u datom slučaju bušenjem, najčešće zahtevaju i detaljnija ispitivanja po pružanju pre upotrebe masovnog bušenja ili rudarskih radova. To se može postići primenom ispitivanja istim metodama duž profila paralelnih ovom, dakle, detaljnim ispitivanjima po mreži. Međutim, u ovakvim situacijama, kada se radi o složenim mineralizovanim zonama sa nizom individualisanih rudnih žica u njima koje se po pružanju račvaju ili spajaju, može biti od velikog interesa da se određena žica u zoni prati po pružanju. Ovo se obično odnosi na ekonomski najvrednije rudne žice. Praćenje jedne žice moguće je primenom metode direktnog kontakta jedne predajne elektrode sa tom žicom. U tom slučaju mogu se ispitivanja izvoditi na kratkim profilima manjeg međusobnog rastojanja.

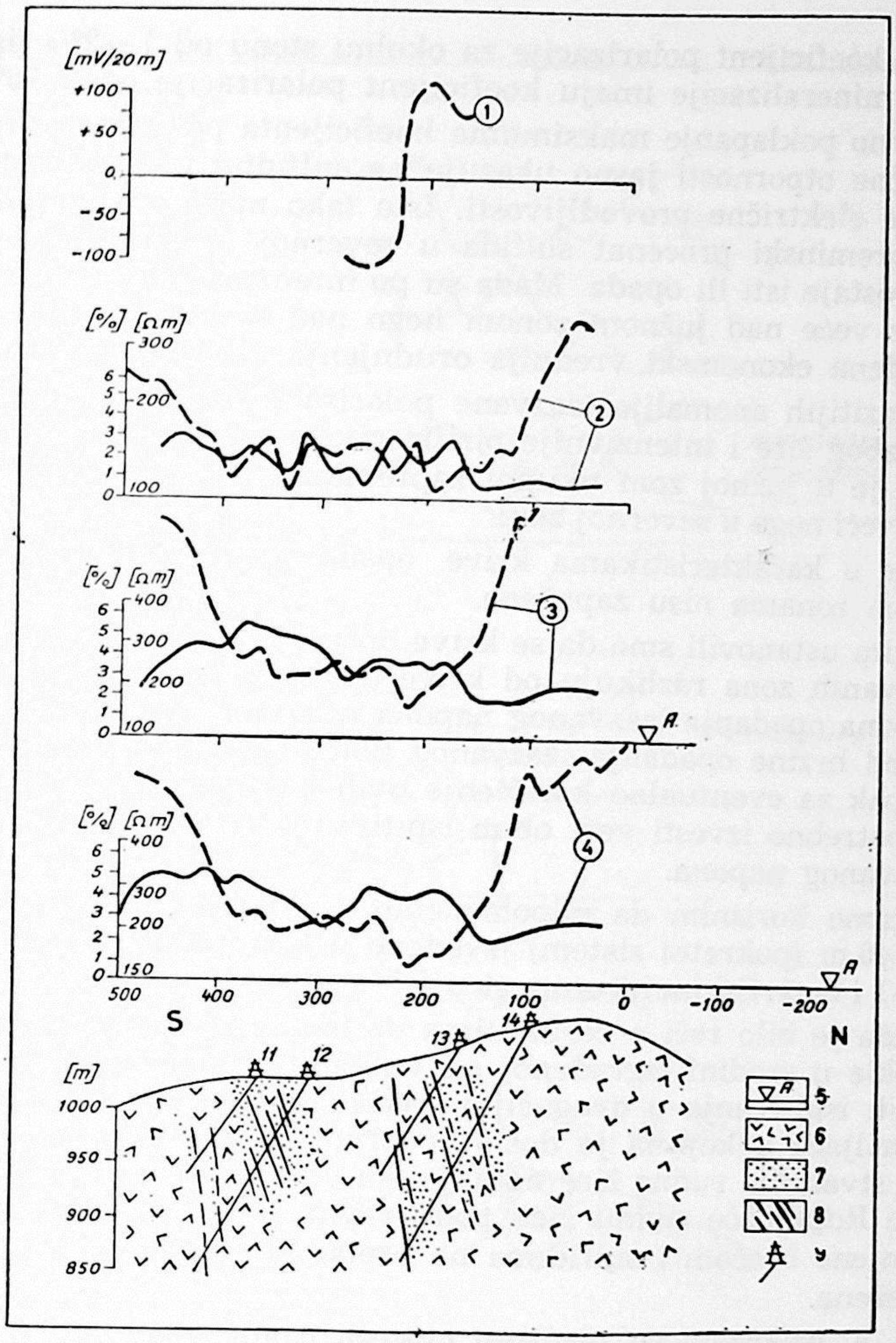
Ovim bi se mogla odrediti pozicija najinteresantnijeg objekta u planu što ima veliki značaj za efikasno lociranje istražnih bušotina.

Na sl. 3. dat je prikaz rezultata merenja gradijenta potencijala duž profila upravnog na pružanje žice. Jedna predajna elektroda direktno kontaktira izabranu žicu (vidi sl. 1.) a druga se nalazi na velikom udaljenju od profila ispitivinja. Vrednosti gradijenta potencijala na dužini od 20 m date su u obliku krive na sl. 3. Indikacija žice je tačka u kojoj gradijent menja znak. Iz sl. 3 se vidi da je sasvim jasna indikacija dobijena na udaljenosti od 50 m od mesta direktnog kontakta. Na taj način moguće je bilo locirati radove sa visokom tačnošću.

U procesu opitno-metodskih ispitivanja primenjena je i metoda izazvane polarizacije. Pri tom je korišćen uređaj IP-2 izrađen u Institutu za geološko-rudarska ispitivanja i istraživanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. U suštini to je uređaj koji šalje jednosmernu struju u tle za vreme od 0—60 sec. a merenje izazvanog napona vrši se 0,5 sec po prekidu predajnog kola. Amplituda izazvanog napona u tom momentu upoređena sa primarnim naponom daje merilo polarizovanosti ispitivanog prostora u procentima.

Na sl. 3. dati su rezultati ispitivanja primenom metode IP pri tri različite dubine ispitivanja. Pri $AB=1000$ i pri $AB=500$ m, sa $MN=20$ m i korakom 20 m, izvor struje je bio agregat. Pri $AB=140$ m izvor struje bile su baterije. U prva dva slučaja struja je bila 2000 mA odnosno 2500 mA dok se u trećem ($AB=140$ m, pokretni) struja menjala u granicama od 84 mA do 440 mA.

U sva tri slučaja dijagrami izazvane polarizacije su slični jedan drugom, naročito za $AB=500$ i $AB=1000$ m. Što se tiče trećeg, indikacije zona visoke polarizovanosti su najmanje jasne, svakako najviše zbog toga što oksidisani deo orudnjenja čini veći deo tela koje se električki polarizuje nego pri ostalim slučajevima. Dijagrami prividnih specifičnih električnih otpora su skoro identični s tim što je opet dijagram rasporeda sa najmanjim prodiranjem najsloženiji zbog površinskih uticaja.



Sl. 3. Opitni profil sa rezultatima ispitivanja primenom metoda izazvane polarizacije i direktnog kontakta.

1. — Kriva gradijenta potencijala dobijena primenom metode direktnog kontakta; 2. — krive električne otpornosti (isprekidana) i izazvane polarizacije (puna) pri pokretnom sistemu sa AB = 140 m i MN = 20 m; 3. — krive električne otpornosti (isprekidana) i izazvane polarizacije (puna) pri gradijentnom sistemu sa AB = 500 m i MN = 20 m; 4. — krive električne otpornosti (isprekidana) i izazvane polarizacije (puna) pri gradijentnom sistemu za AB = 1000 m i MN = 20 m; 5. — Položaj predajnih elektroda; 6. — ignimbrit; 7. — sulfidne mineralizacije; 8. — sulfidne žice; 9. — bušotine.

Fig. 3. Test section with the results of induced polarizations and charged body investigations.

1. — curve of potential gradient; 2. — curves of resistivity (dashed) and induced polarization (full) for moving electrodes array with AB = 140 m and MN = 20 m; 3. — curves of resistivity and induced polarization for gradient electrodes array with AB=500 m and MN=20 m; 4. — Curves of resistivity and induced polarization for gradient electrodes array with AB=1000 m and MN=20 m; 5. — position of current electrodes; 6. — ignimbrite; 7. — sulphyde impregnations; 8. — sulphyde veins; 9. — drill holes.

Dok je koeficijent polarizacije za okolnu stenu od 1—2% (ignimbrit) dotle zone mineralizacije imaju koeficijent polarizacije od 2—6%.

Prostorno poklapanje maksimuma koeficijenta polarizacije i minimuma električne otpornosti jasno ukazuje na sulfidnu mineralizaciju u zonama dobre električne provodljivosti. Isto tako može se pretpostaviti da ukupni zapreminski procenat sulfida u severnoj zoni raste sa dubinom a u južnoj ostaje isti ili opada. Mada su po intenzitetu indikacije izazvane polarizacije veće nad južnom zonom nego nad severnom, ipak su bušenjem utvrđena ekonomski vrednija orudnjenja u severnoj zoni.

Do izrazitijih anomalija izazvane polarizacije u južnoj zoni došlo je pre svega zbog šire i intenzivnije piritizacije u južnoj zoni. Zbog toga je sigurno da je u južnoj zoni ukupni zapreminski procenat sulfida koji se polarizuju veći nego u severnoj zoni.

Razlike u karakteristikama krive opadanja izazvanog napona nad ovim dvema zonama nisu zapažene.

Međutim ustanovili smo da se krive opadanja izazvanog napona iznad mineralizovanih zona razlikuju od krive opadanja nad okolnim stenama. Naime, brzina opadanja izazvanog napona nad sterilnom okolnom stenom je manja od brzine opadanja izazvanog potencijala nad mineralizovanim zonama. Ipak za eventualno korišćenje ovih karakteristika za interpretaciju biće potrebno izvesti veći obim ispitivanja karakteristika krive opadanja izazvanog napona.

Smatramo korisnim da napomenemo da je ispitivanje metodom IP pri $AB = 140$ m (pokretni sistem) izvedeno sa portabilnim autokompenzatorom TK-1 i baterijskim izvorom struje.

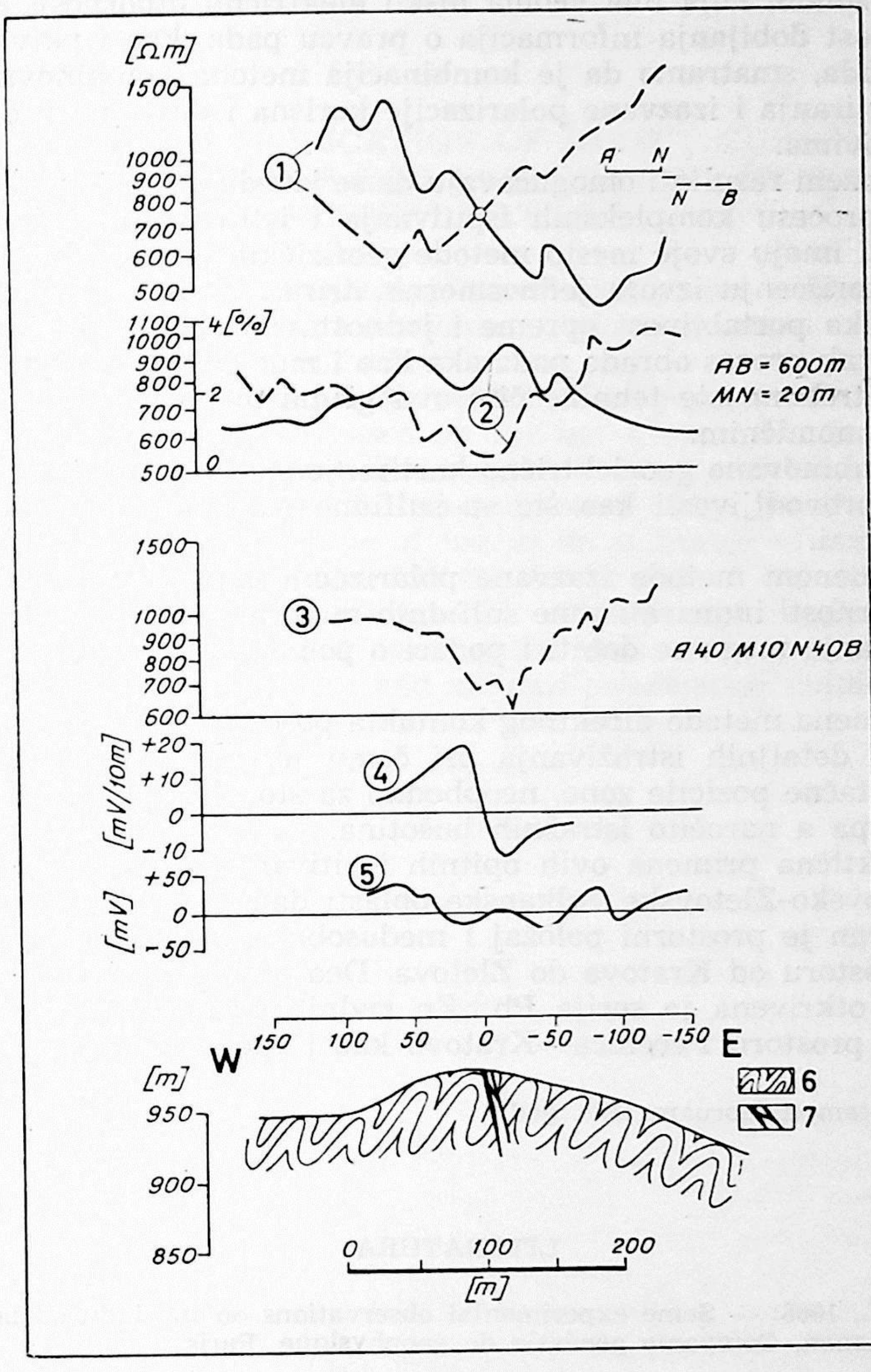
Do sada je bilo reči o rezultatima opitnih ispitivanja na profilu Pečenica, dakle u sredini izgrađenoj od vulkanita. Sada ćemo izneti rezultate opitnih ispitivanja u drugačijoj sredini. To je zapravo serija paleozojskih škriljaca u kojima je došlo do orudnjenja duž razloma. Tako je došlo i do stvaranja rudne žice na kojoj su vršena opitna ispitivanja. Profil Veljine Rupe seče rudnu žicu pod pravim uglom. Debljina tektonske zone ispunjene brečom i sulfidima ne prelazi 3 m. Glinovite salbande su dobro izražene.

Na sl. 4. prikazani su rezultati opitnih ispitivanja. Primenjen je niz metoda ispitivanja pri kojima se koristi jednosmerna struja kao i metoda sopstvenog potencijala.

Sem metode sopstvenog potencijala kojom se nedovoljno jasno indicira mineralizovana zona, sve ostale primenjene metode jasno indiciraju njeno prisustvo. Dok metode simetričnog i kombinovanog električnog kartiranja jasno ukazuju na prisustvo zone dobre električne provodljivosti, dotle rezultati dobijeni primenom metode izazvane polarizacije jasno indiciraju prisustvo tela koje se električno polarizuje — u ovom slučaju sulfidne rudne žice.

Metoda direktnog kontakta najpreciznije indicira položaj izdanka rudne žice. Stoga smatramo da je veoma upotrebljiva u cilju što preciznijeg lociranja istražnih bušotina i raskopa.

Kao što se vidi sa sl. 4. sredina je relativno visoke električne otpornosti. To je svakako razlog što smo dobili odlične indikacije nad minera-



Sl. 4. Opitni profil Veljine Rupe

1. — Krive kombinovanog profiliranja pri A40 M10 N40B sa C u »beskonačnosti«; 2. — krive električne otpornosti i izazvane polarizacije (puna) pri gradijentnom rasporedu sa AB = 600 m MN = 20 m; 3. — kriva električne otpornosti pri pokretnom sistemu sa A40 M10 N40B; 4. — kriva gradijenta potencijala dobijena primenom metode direktnog kontakta; 5. — kriva sopstvenog potencijala; 6. — hloritski škriljci; 7. — rudna žica.

Fig. 4. Test section Veljine Rupe

1. — Curves combined profiling for electrode array A40 M10 N40B and C in »infinity«; 2. — curves of resistivity and induced polarization for gradient method with electrodes array AB=600 m and MN=20 m; 3. — resistivity curve for moving electrodes array with A40 M10 N40B; 4. — curve of potential gradient; 5. — curve of self potential; 6. — shistes; 7. — ore vein.

lizovanom zonom koja ima veoma nisku električnu otpornost. S obzirom na mogućnost dobijanja informacija o pravcu pada, kao i potvrdu o prisustvu sulfida, smatramo da je kombinacija metoda kombinovanog električnog kartiranja i izazvane polarizacije korisna i dovoljna u datim geološkim uslovima.

Svi izloženi rezultati omogućavaju da se izvedu sledeći opšti zaključci.

— U procesu kompleksnih ispitivanja i istraživanja jedne minerogene oblasti imaju svoje mesto metode geofizičkih ispitivanja koje se baziraju na korišćenju izvora jednosmerne struje.

— Velika portabilnost opreme i jednostavno rukovanje, bezopasnost u radu, kratak proces obrade podataka kao i mogućnost kompleksnih ispitivanja upotrebom iste tehnike čini ovu grupu metoda posebno upotrebljivim i ekonomičnim.

— Kombinovano geoelektrično kartiranje sigurno indicira zone dobre električne provodljivosti kao što su sulfidne rudne žice, mineralizovane zone i razlomi.

— Primenom metode izazvane polarizacije mogu se sa velikim stepenom sigurnosti indicirati zone sulfidnih mineralizacija a promenom dubine ispitivanja mogu se dobiti i podaci o ponašanju sulfidne mineralizacije po dubini.

— Primena metode direktnog kontakta posebno može da bude od koristi u fazi detaljnih istraživanja pri čemu je, praćenje po pružanju i indiciranje tačne pozicije zone, neophodno za što efikasnije i tačnije lociranje raskopa a naročito istražnih bušotina.

— Praktična primena ovih opitnih ispitivanja u minerogenom području Kratovsko-Zletovske vulkanske oblasti dala je već pozitivne rezultate. Otkriven je prostorni položaj i međusobni odnos sistema razlomnih zona na prostoru od Kratova do Zletova. Deo ovih zona je istraživanjem proveren i otkrivena je serija Pb+Zn rudnih žica Blizanci, rudne žice Pb+Zn na prostoru Pečenica—Kratovo kao i rudna žična zona Šlegovo.

(Predato za štampu februara 1969. god.)

LITERATURA

1. Bertin J., 1968: — Some experimental observations on the induced polarization phenomenon, Companie générale de geophysique, Paris.
2. Bloh I. M., 1962: — Elektroprofilirovane metodom soprotivlenie, Gosgeoltehizdat, Moskva.
3. Bleil D., 1953: — Induced polarization, a method os geophysical prospecting, Geophysics, N 3.
4. Jakubovskij V., 1964: — Elektrorazvedka, Nedra, Moskva.
5. Krejter V. A., 1964: — Poiski i razvedka mestoroždenij poleznih iskopaemih, Nedra, Moskva.
6. Komarov V. A., 1964: — Primenenije metoda vizvanoj polarizaciji pri poiskah rudnih mestoroždenija, Nedra, Moskva.
7. Simić V., 1962: — Prikaz kompleksnih ispitivanja i istraživanja Pb — Zn orudnjenja na lokalnosti Blizanci, VI savetovanje geologa Jugoslavije, Ohrid.
8. Simić V., 1967: — Izveštaj o geofizičkim ispitivanjima Bučim, Beograd.

Summary

VLADAN SIMIĆ*

POSSIBILITY OF APPLICATION OF DIRECT CURRENT GEO-ELEKTRICAL METHODS FOR EXPLORATION OF SULPHYDE MINERALIZATIONS

During last several years a geophysical exploration programme in the area of Kratovo—Zletovo, Macedonia, disccvered many indications of conductive zones, some of wiche led to discovery of several lead-zinc vein type ore bodies. This paper deals with the analyses of different type of applied geophysical method based on the use of portable technique and direct current as power supply. The results obtained at different geological conditions have been presented. It is suggested that type of decay curve of induced polarization may be of use as an indicator of type of source of indications. Also it is suggested the succession of the application of geophysical methods in the process of detailed exploration of mineral deposits. The best results and most usefull data were obtained applying three electrod restivity method and induced polarization method, gradient type.

* Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

VLADAN SIMIĆ

UDK = 550.839

ISPITIVANJE TERMOLUMINISCENCIJE STENA I RUDA I PRAKTIČNA PRIMENA

(sa 4 slike)

S a d r ž a j: U ovom radu se iznosi tehnika merenja termoluminiscentnog efekta stena i ruda kao i primeri primene ovih ispitivanja u procesu istraživanja mineralnih sirovina. Ukazuje se na mogućnost indiciranja prisustva rudnih tela na osnovu termoluminiscentnih oreola čije dimenzije izgleda da su impozantne. Iznose se osnovni tehničko-metodski problemi koji još nisu rešeni kao i pregled mogućih polja korišćenja ove metode. Posebno se apostrofira mogućnost otkrivanja hipogenih ležišta i korelacija vulkanskih slivova, dajkova, proboja i sl.

Do sada su mnogi autori naročito u SSSR-u i SAD objavili radove iz oblasti termoluminiscencije* i mogućnosti korišćenja TL efekta u ispitivanjima mineralnih sirovina i geologiji uopšte.

Jedan od najstarijih objavljenih radova (literatura 4) daje kako teoretske osnove i objašnjenje TL fenomena tako i korišćenje ovoga za otkrivanje hidrotermalnih rudnih ležišta. Istovremeno ukazuje na prisustvo ovog fenomena u obodnim delovima intruzivnih tela. Pretpostavlja da su osnovni uzročnici TL elementi u primesama i radioaktivnost. Pored niza primera ispitivanja magmatskih stena prikazuje i rezultate ispitivanja TL u uzorcima uzetih u blizini rudnih tela iz bušotina.

Na osnovu ovih poslednjih zaključuje da je TL efekat indikativan za prisustvo hidrotermalnih rudnih tela a navodi i primer da su ove indikacije uočene i na udaljenju od rude za 15—20 m. Istovremeno ukazuje na odsustvo TL efekta u samoj rudi kao i na tesnu vezu TL sa radioaktivnošću.

Kasnija ispitivanja izvedena uz daleko bolje tehničke mogućnosti (3, 6, 8) delimično potvrđuju gornje pretpostavke i otvaraju druge mogućnosti.

U pogledu mogućnosti korišćenja TL efekta u ispitivanju i istraživanju mineralnih sirovina posebno se ističu radovi G. Z e s c h k e a i drugih (4, 5, 6).

---

* U daljem tekstu radi pogodnosti TL.

L. M. Ovčinikov (6) naglašava mogućnost korišćenja ove metode u slučajevima kontaktno-metamorfnih ležišta u krečnjacima i dolomitima. Ukazuje isto tako na mogućnost otkrivanja puteva i pravca toka hidrotermalnih rastvora.

Uopšte uzev, po njemu, intenzitet i karakter TL odražava uslove stvaranja minerala stena i ruda. Istovremeno ukazuje na rezultate eksperimentisanja kojima je dokazano da se ne mogu koristiti ispitivanja TL efekta za određivanje temperature postanka jer se TL može odigrati i na nižim temperaturama ukoliko je telo izloženo toj nižoj temperaturi duži period vremena.

Međutim svi se slažu u tome da je osnovni uzročnik TL efekta oslobađanje elektrona iz elektronskih »trapova« koje se odigrava pri zagrevanju usled čega dolazi do prelaska elektrona u niže energetsko stanje a pri tom dolazi do emisije svetlosti.

Logično je, prema tome, zaključiti da je verovatnoća za prisustvo TL kao i za veći intenzitet, veća u slučaju većeg broja »trapova«.

Veći broj »trapova« svakako imaju minerali (pa i stene) koji imaju više primesa, defekata kao i »burniju« istoriju uopšte. Procesi formiranja magmatskih stena i endogenih ležišta mineralnih sirovina svakako spadaju u uzročnike prisustva TL efekta u geološkim materijalima.

Upravo od ove pretpostavke smo pošli i mi pri ispitivanju mogućnosti TL u procesu istraživanja mineralnih sirovina.

Radovi na polju termoluminiscencije u 1968. godini finansirani su iz Republičkog fonda za naučni rad SR Srbije.

Prototip za merenje TL izrađen je u geofizičkoj razvojnoj laboratoriji Instituta. Na izradi su radili Milošević Obrad, dipl. inž. geofizike i Dakić Momčilo, elektrotehničar.

U daljem tekstu biće izloženi rezultati radova i to redom kojim su se radovi odvijali.

U cilju dobijanja osnovnih podataka o prirodi TL, o intenzitetu, boji i vremenu trajanja ovog efekta izveden je niz eksperimenata sa materijalima koji, na osnovu dosadašnjeg poznavanja ovog fenomena, imaju visoku TL.

Najpre smo zagrevali materijal sprašen na 60—80 mesha pomoću grejača i posmatrali luminisciranje u zamračenoj prostoriji. Ovakav eksperiment izveli smo sa primercima krečnjaka, dolomita, kalcita i gnajsa. Utvrdili smo da svi pomenuti materijali pokazuju TL efekat. Isto tako utvrdili smo da se po boji svetlosti razlikuju kao i da se po intenzitetu veoma razlikuju. Najintenzivniji TL efekat imao je kalcit. Uočili smo da jednom zagrejan materijal gubi ovo svojstvo tako da ga nema pri ponovnom zagrevanju.

Isto tako uočili smo da se intenzitet TL povećava pri povećanju brzine zagrevanja. Naime intenzitet je veći pri stavljanju posude sa materijalom na već veoma ugrejan grejač od ovoga intenziteta pri postupnom zagrevanju grejača i posude sa materijalom.

Ovi grubi eksperimenti omogućili su usmeravanje procesa izrade prototipa uređaja za merenje TL.

Uređaj bi morao da omogući registrovanje TL pri različitim intenzitetima a uz kontrolu temperature zagrejavanja. Da bi se eventualno omo-

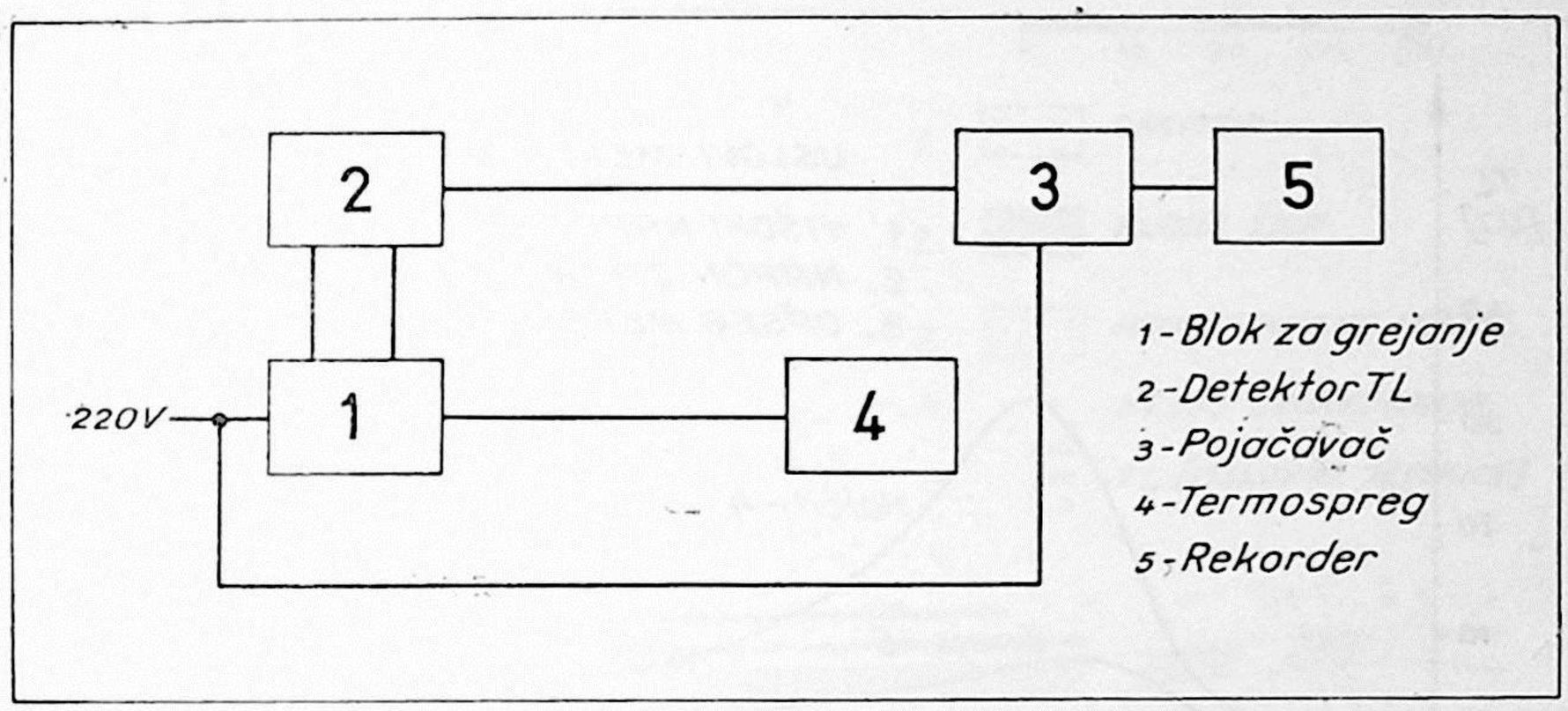
gućilo filtriranje svetlosti kao i registracija dela TL predložen je prenosni sistem blende i sočiva i ugrađen između grejača i fotomultiplikatora.

Izrada prototipa uređaja, koga smo nazvali mikrofotometar, počela je i završena u toku 1968. godine.

Mikrofotometar se sastoji iz sledećih osnovnih delova:

Bloka za zagrejavanje detektora TL sa optičkim kanalom, pojačivača sa izvorom visokog napona za detektor, pirometra i rekordera.

Blok šema ovog uređaja prikazana je na slici 1.



Sl. 1. Blok shema prototipa uređaja za TL

1. Blok za grejanje; 2. detektor TL; 3. pojačavač; 4. termospreg; 5. rekorder.

Fig. 1. Block diagram of aparatus for TL

1. Heating block; 2. detector; 3. amplifier; 4. thermocuple; 5. recorder.

Princip rada uređaja mikrofotometra sastoji se u sledećem:

Materijal čiji TL efekat želimo da ispitamo treba usitniti na određenu veličinu zrna. Ovako pripremljen materijal stavlja se u posudu u sloju određene debljine a zatim se posuda unosi u komoru za zagrevanje.

Svetlost koja se dobija pri zagrevanju materijala u posudi prenosi se kroz sistem sočiva i blendi na fotomultiplikator koji je osnovni deo detektora. Struja koja se javlja u anodi fotomultiplikatora direktno je proporcionalna intenzitetu TL, a ustanovili smo da je reda veličine 10^{-6}—10^{-8} ampera. Da bi se mogla registrovati ova struja se vodi na pojačavač gde se pojačava nekoliko stotina puta. Tako pojačana struja omogućuje registrovanje efekta TL na rekorderu na unapred odabranom opsegu. Biranje opsega vrši se na osnovu intenziteta indikacije a postoji mogućnost biranja između 5 opsega. Odnos između opsega je 1 : 2 : 4 : 8 : 16 počev od najgrubljeg opsega 1.

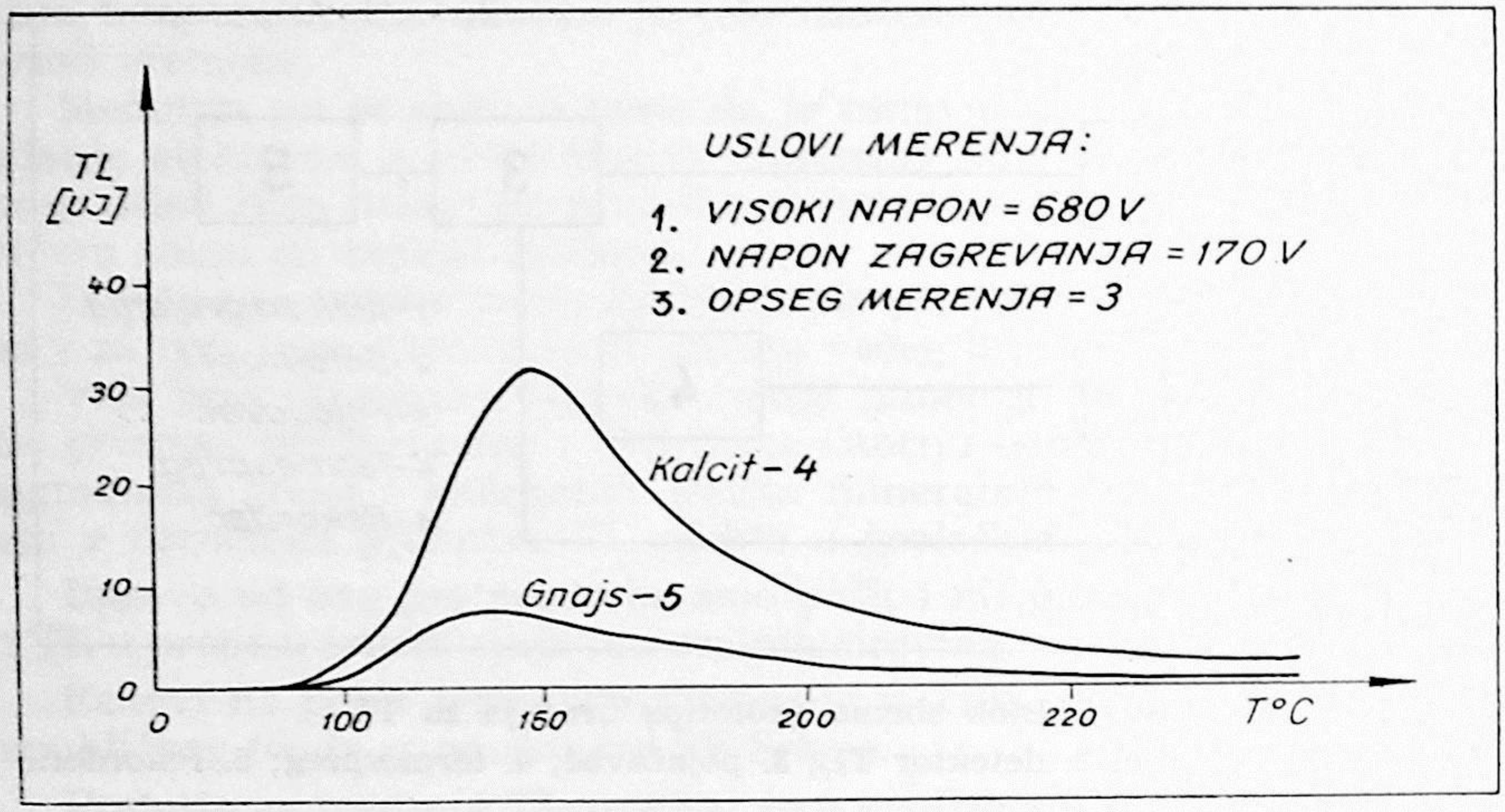
Brzina zagrevanja uzorka može se menjati menjanjem napona struje zagrevanja.

Merenje temperature uzorka vrši se pomoću termosprega vezanog za indikatorski instrument na kome se može očitavati.

U cilju provere rada prototipa uređaja koji je upravo opisan izvedena su ispitivanja i snimanja krivih TL efekta u funkciji temperature o kojima će biti reči niže u tekstu.

Najpre su izvedena ispitivanja na uzorcima kalcita i gnajsa koji su pripremljeni za ispitivanje.

Na sl. 2 dati su dijagrami registrovani za ova dva materijala pri istim uslovima ispitivanja.



Sl. 2. Krive TL za kalcit i gnajs
1. visoki napon 680 V; 2. napon zagrevanja 170 V; 3. opseg merenja; 4. TL kriva za kalcit; 5. TL kriva za gnajs.

Fig. 2. TL curves for calcite and gneiss
1. high voltage 680 V; 2. heating voltage; 3. measuring range; 4. TL curve for calcite; 5. TL curve for gneiss.

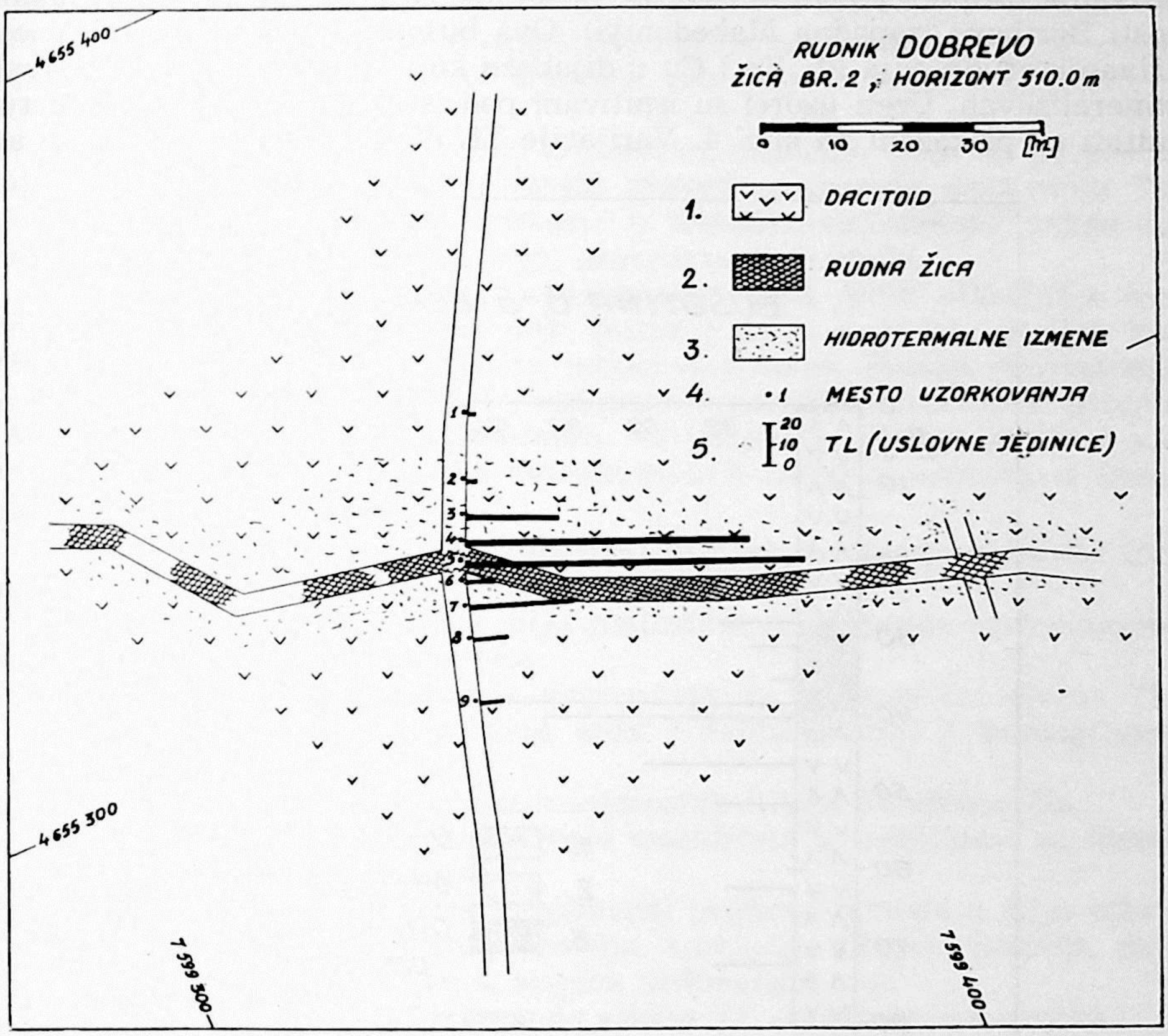
Ono što se odmah uočava jeste da su intenziteti TL različiti i to veoma. Naime intenzitet maksimalnog TL za kalcit veći je od intenziteta za gnajs za oko 4 puta.

Isto tako maksimalni efekat TL za gnajs registrovan je na nižoj temperaturi nego za kalcit, dok je početak termoluminisciranja za gnajs na višoj temperaturi nego za kalcit. U celini može se tvrditi da je TL efekat za data dva materijala različit u više vidova što bi moglo da posluži kao osnova za rešavanje konkretnih problema i možda identifikaciju datih materijala.

Dalji korak u eksperimentalnim merenjima učinili smo ispitivanjem TL efekta određenih vrsta stena i to ignimbrita (na 5 uzoraka) i dacitoida (5 uzoraka).

Mada je to mali broj uzoraka za sračunavanje srednjih vrednosti za dati materijal, frapantna je sličnost efekata za isti materijal. Na primer za ignimbrit smo dobili vrednost maksimalnog intenziteta od nula (bez efekta) do dve uslovne jedinice a za dacitoid od 3—7 uslovnih jedinica.

Zatim smo izveli eksperimentalna ispitivanja koja bi mogla biti od direktnog ekonomskog interesa. Stoga smo uzeli uzorke u rudniku Dobrevo po profilu datom na sl. 3. Ukupno je uzeto 9 uzoraka s tim što su uzimani na obe strane od rudnog tela na rastojanju od 1, 5, 10 i 20 m. Uzet je i jedan uzorak iz samog rudnog tela.



Sl. 3. Rudnik Dobrevo, žica br. 2

1. dacitoid; 2. rudna žica; 3. hidrotermalne izmene; 4. mesto uzorkovanja 5. TL (uslovne jedinice).

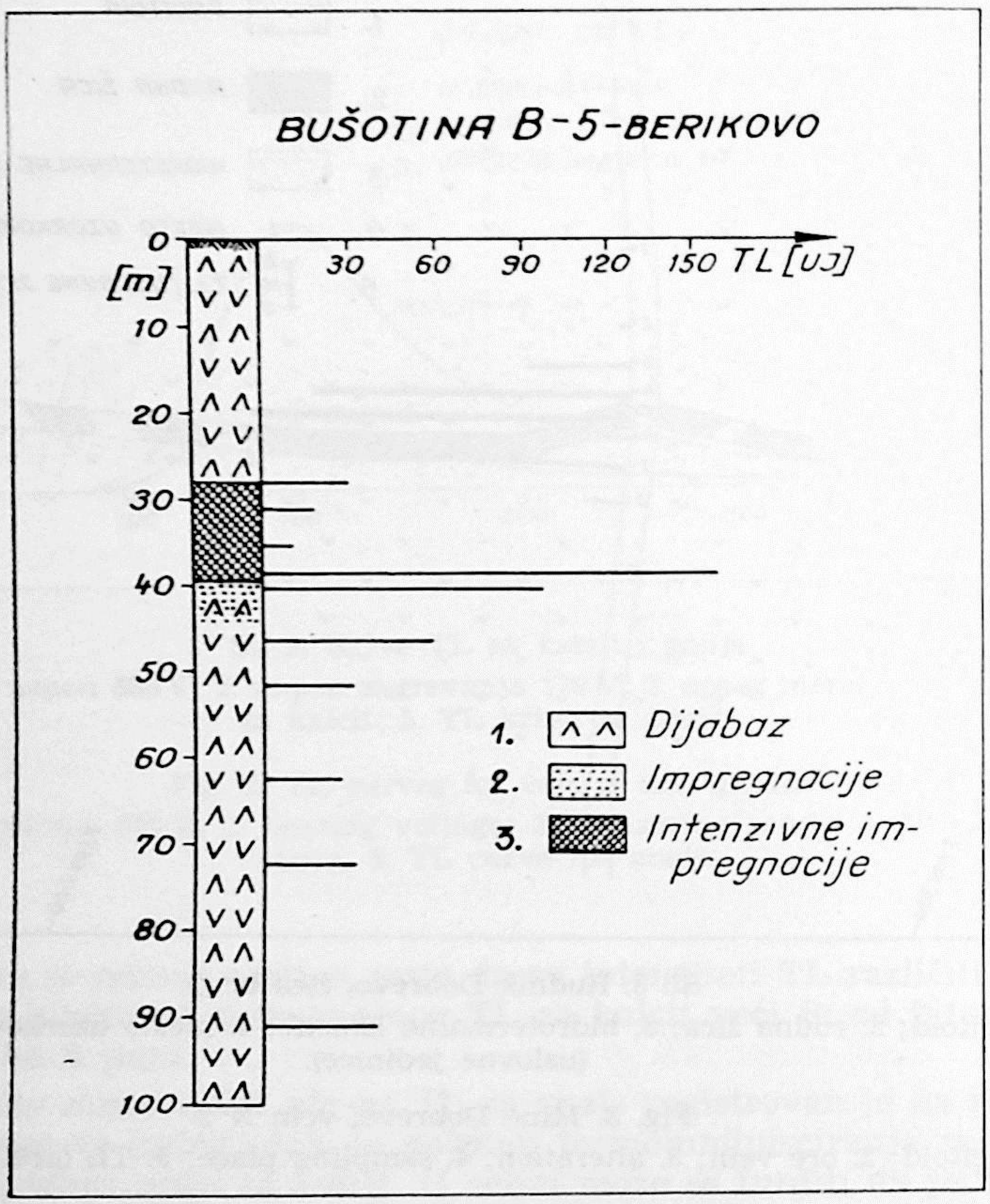
Fig. 3. Mine Dobrevo, vein N° 2

1. dacitoid; 2. ore vein; 3. alteration; 4. sampling place; 5. TL (arbitrary unit).

Pre svega uočavaju se veoma velike razlike u TL efektu između uzetih uzoraka. Te razlike idu i do 60 puta (uzorak 1 : 5). Zatim jasno se i nedvosmisleno TL efekat povećava približavanjem rudnom telu i opada udaljujući se od njega. Ovaj momenat je veoma značajan ukoliko se u daljem radu potvrdi kao zakonitost. Dok je serija uzoraka uzetih sa severne strane od rudnog tela (uzorci 1, 2) po intenzitetu TL efekta u granicama normalnih intenziteta za dacite, dotle su uzorci sa južne strane daleko iznad ovih vrednosti. Dakle ukoliko se pođe od pretpostavke da je TL efekat u ovom slučaju posledica uticaja procesa orudnjavanja na okol-

nu stenu to možemo tvrditi da se prisustvo mineralizacije može indicirati sa udaljenja većeg od 20 m od same mineralizacije. Uzorak 9 je na 20 m od rudnog tela, a još uvek pokazuje visok TL efekat.

Upravo smo izneli rezultate ispitivanja TL efekata u okolnoj steni rudnih tela u rudarskim radovima. U daljem tekstu daćemo rezultate ispitivanja uzoraka jezgra iz istražne bušotine. To je bušotina B-5 sa lokalnosti Berikovo (zapadna Makedonija). Ova bušotina je bušena u cilju otkrivanja orudnjenja Pb, Zn i Cu u dijabazu koji je mestimično intenzivno mineralizovan. Uzeti uzorci su ispitivani pod istim uslovima. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 4. Varijacije TL efekata su veoma visoke ali



Sl. 4. Bušotina B — 5 Berikovo
1. dijabaz; 2. impregnacije; 3. intenzivne impregnacije.

Fig. 4. Drillhole B — 5 Berikovo
1. diabase; 2. impregnations; 3. intense impregnations.

isto tako TL efekat od dijabaza je relativno visok u poređenju sa TL efektom dacitoida i ignimbrita. Na osnovu svega tri analize iz drugih bušotina sa ove lokalnosti (TL efekt ne prelazi 10 U. J) moglo bi se pretpostaviti

čak da su svi uzorci iz B-5 u okviru oreola uticaja procesa orudnjavanja na okolnu stenu, što bi bilo veoma važno ukoliko se ovo potvrdi, jer se radi čak i o uzorcima koji su udaljeni od intenzivne mineralizacije i 50 m.

I ovde kao i u prvom primeru imamo porast TL efekata u pravcu orudnjenja i obrnuto. Ovde to nije tako jasno jer smo uzorke uzeli praktično samo sa jedne strane otkrivenog orudnjenja i iz njega. Biće potreban svakako daleko veći obim eksperimentalnih ispitivanja da bi se mogli sigurnije interpretirati rezultati u smislu veze između orudnjenja i intenziteta efekta TL.

Na kraju, mislimo da bi bilo korisno da ukažemo kako na probleme koji bi se eventualno mogli rešavati primenom metode ispitivanja TL efekata tako i na nerešene probleme u tehničko-metodskom smislu na kojima bi se ubuduće radilo u cilju usavršavanja metode.

Pored mogućnosti indiciranja hipogenih ležišta preko otkrivanja termoluminiscentnih »oreola« oko njih, mislimo da bi se mogle izvoditi korelacije dajkova, slivova vulkanita, intruziva i slično. Postoji verovatnoća da će moći da se vrši i korelacija sedimenata naročito karbonatne prirode u serijama manje ili više poremećenih. Ne isključuje se ni mogućnost određivanja pravaca i smera toka hidrotermalnih rastvora, naročito u krečnjačko-dolomitskim stenama.

U cilju tehničko-metodskog usavršavanja smatramo da ubuduće treba raditi na sledećim problemima.

— Usavršavanje uređaja u cilju postizanja ravnomerne brzine zagrevanja uzoraka u vremenu
— Ispitivanje uticaja brzine zagrevanja na registrovani efekat TL.
— Ispitivanje uticaja veličine zrna i debljine sloja i homogenosti uzorka na efekat TL.
— Ispitivanje uticaja različitih svetlosnih filtera na efekat TL.
— Ispitivanje mogućnosti merenja intenziteta u jedinicama za merenje intenziteta svetlosti.
— Sistematska ispitivanja mogućnosti primene metode u cilju otkrivanja ležišta mineralnih sirovina, korelacije slivova, proboja, dajkova magmatskih stena, slojeva sedimenata i sl.
— Ispitivanje veštački izazvanog efekta TL ozračivanjem uzorka.

Na kraju želimo da se zahvalimo Fondu za naučni rad SR Srbije koji je omogućio finansiranje rada kao i geološkoj službi rudnika Dobrevo — Sasa koji su pomogli i omogućili uzimanje uzoraka u rudniku Dobrevo.

(Predato za štampu decembra 1968. god.)

LITERATURA

1. Daniels F., 1960: — Thermoluminescence correlations of rhyolitic tuffs, SEG meeting, Denver.
2. Zeschke G., 1963: — Thermal glow tests as a guide of ore deposites, Economic Geology, N. 5.
3. Mac Diarmid R. A., 1960: — An application of thermoluminescence to prospecting for hydrothermal ores, Economic Geology, N 6.
4. Mc Dougall D. J., 1954: — The marginal luminescence of certain intrusive rocks and hydrothermal ore deposites, Economic Geology. N 7.

5. Mc Dougall D. J., 1964: — Thermal glow tests as a guide to ore deposits, (discussion), Economic Geology, N 2.
6. Ovčinikov L. N., 1965: — Aspekti i metodi izučenija endogenova rudoobrazovanija Izvestija AN SSSR, Serija geol., N 6.
7. Roach C. H., 1960: — USGS profesionel paper 400B.
8. Sabels F., 1960: — Thermoluminescence correlations of rhyolitic tuffs, SEG meeting, Denver.
9. Friedmen H., Glover C., 1952: — Radiosensitivity of alcali halide cristals, Nucleonics, v. 10.

Summary

VLADAN SIMIĆ*

THERMOLUMINESCENT INVESTIGATIONS OF ROCKS AND ORES AND ITS PRACTICAL USE

In this paper author explains briefly technique of thermoluminescent measurements of different geologic materials as well as the practical use of the results in the process of prospection of mineral deposits.

It seems, that there is possibility to indicate presence of sulphyde ore body by means of thermoluminiscence halo around it. The dimensions of such a halo may be rather large. Also it is suggested what are the main problems in developement of technique and the possible field of application of this kind of investigations.

* Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw material, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

SLAVIŠA GOJKOVIĆ
RUŽICA NEDIMOVIĆ

UDK = 535.37.005:550.42

DIREKTNO ODREĐIVANJE NEKIH METALA »IN SITU« POMOĆU PRENOSNOG ANALIZATORA FLUORESCENTNOG X-ZRAČENJA

(sa 6 slika i 3 tabele)

S a d r ž a j: Prenosni analizator fluorescentnog X-zračenja predstavlja koristan instrumenat kod analiza nekih metala »in situ«. Princip rada instrumenta se zasniva na ozračavanju ispitivanog materijala — uzoraka ruda, zidova potkopa, jezgara iz bušotina itd., — pomoću pogodnog radioaktivnog izvora i merenju fluorescentnog X-zračenja pogodnim detektorom. Izborom odgovarajućih filtrova i radioaktivnih izvora, moguće je selektivno određivanje većeg broja elemenata.

Autori su sa navedenim instrumentom ispitivali osetljivost ove metode na veštačkim uzorcima Cu, Ni, Zn, Pb, Mo, Ti, Sn, i W. Najveća osetljivost je dobijena kod Zn, Ni i Cu, dok je kod ostalih elemenata bila niža. Dosadašnji eksperimenti pokazuju da je moguće analizirati rude bakra sa sadržajem od 0,2% i nešto nižim, pošto apsolutna greška sa ispitivanim uređajem iznosi oko 0,1% Cu. Pogodnijim elektronskim rešenjima bilo bi moguće znatno povećati i tačnost i osetljivost; na primer, primenom digitalnog brojača, umesto postojećeg integratora, osetljivost bi se mogla povećati za faktor 10.

Uređaj je jednostavan za rukovanje i tehnika merenja sa njime je veoma slična tehnici merenja sa GM ili scintilacionim brojačem kod prospekcije radioaktivnih elemenata. Pošto jedna analiza »in situ« traje 1—2 minuta, moguće je analizirati veliki broj tačaka za relativno kratko vreme.

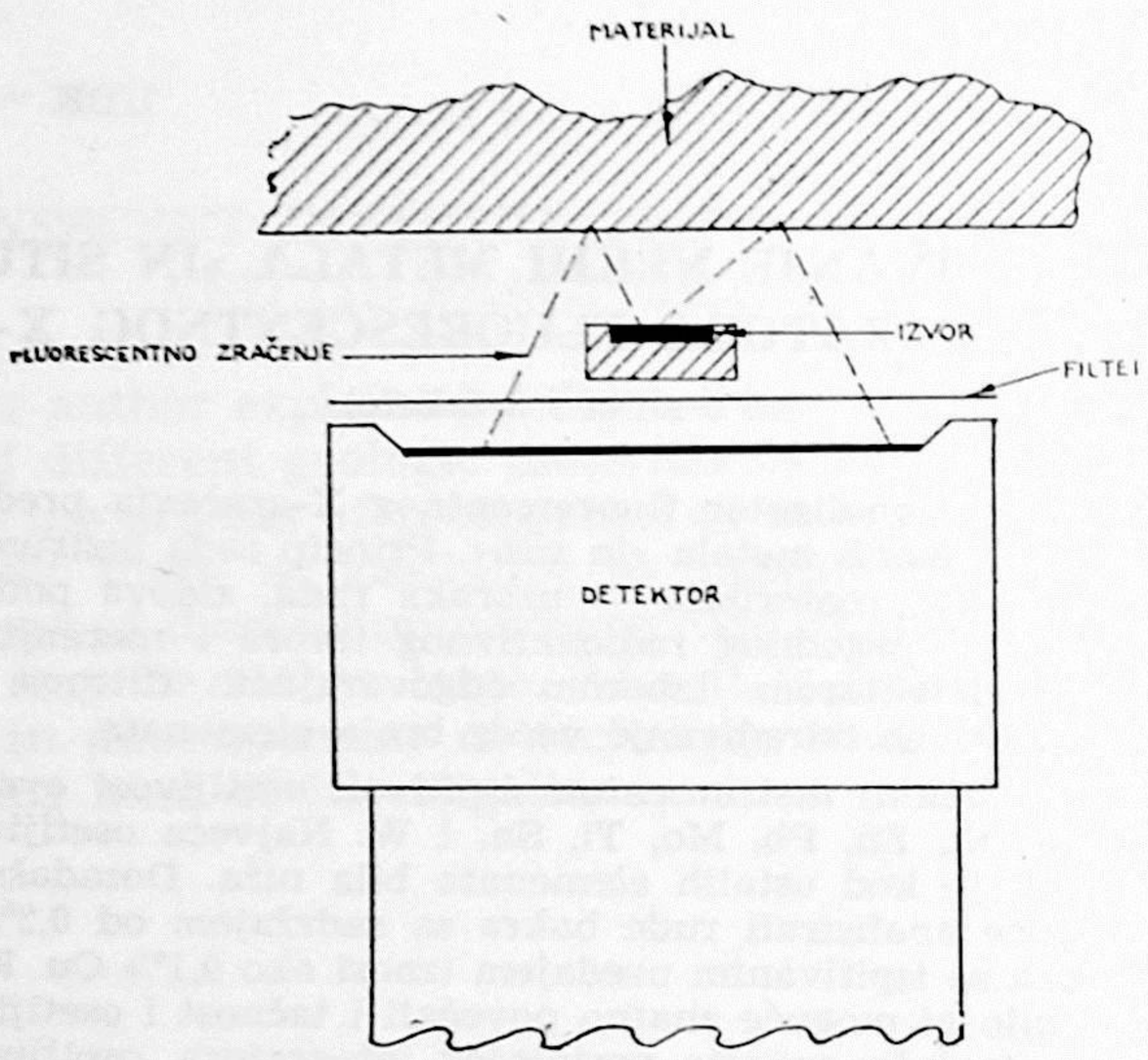
FIZIČKI PRINCIP METODE

Princip rada prenosnog analizatora fluorescentnog X-zračenja u osnovi je isti kao i kod standardnih uređaja za rendgensku fluorescentnu analizu. Razlika je jedino u načinu pobude i selekcije fluorescentnog zračenja. Dok kod standardnih uređaja fluorescentno zračenje se pobuđuje pomoću X-zračenja dobijenih elektronskim putem, a selekcija se vrši pomoću kristalne difrakcije, kod prenosnog uređaja se koristi radioaktivni izotop kao izvor zračenja, dok se selekcija fluorescentnog zračenja vrši pomoću filtrova i (ili) elektronskog diskriminatora.

Pobuđen primarnim zračenjem, svaki elemenat daje karakterističan spektar fluorescentnog X-zračenja, nastao usled popunjavanja elektronskih ljuski iz kojih su uklonjeni elektroni fotoelektričnim dejstvom pri-

marnih zračenja. Kod X-fluorescence, od primarnog su interesa K X-zračenja, premda se, u nekim slučajevima, mogu da koriste i L X-zračenja.

Prema tome, ako se tako nastalo fluorescentno zračenje pobuđenog elementa selektivno izdvoji, njegov intenzitet će predstavljati funkciju intenziteta primarnog zračenja i koncentracije pobuđenog elementa. Tehničko rešenje kombinacije detektora i radioaktivnog izvora za ovakva merenja je srazmerno jednostavno i prikazano je na sl. 1. U izvesnim slučajevima, kod niske specifične aktivnosti izvora, moguće je povećati osetljivost upotrebom prstenastog umesto tačkastog izvora, postavljenog koaksijalno oko detektora.

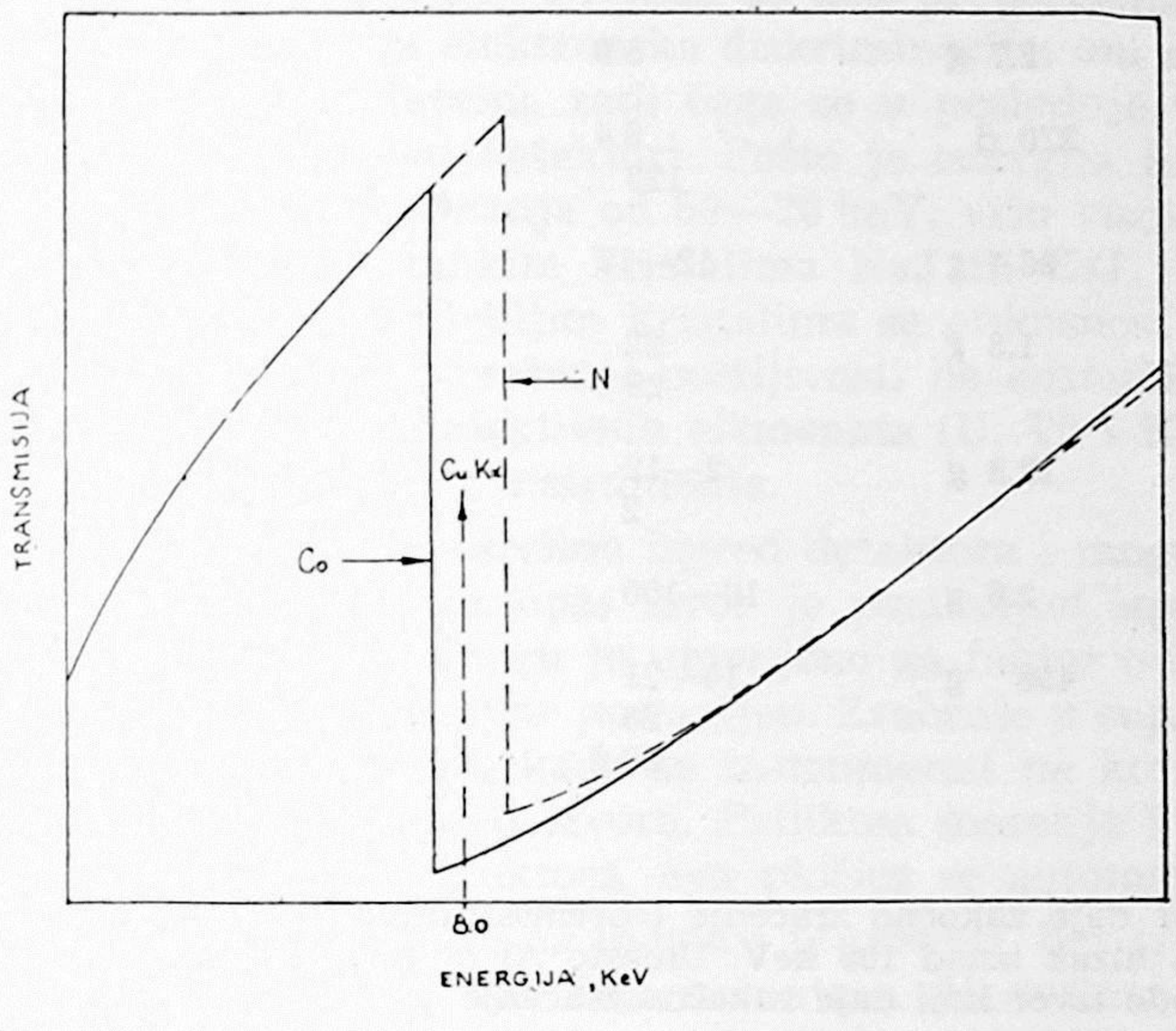


Sl. 1. Šematski prikaz položaja uzorka, radioaktivnog izvora, filtra i detektora.

Za izdvajanje fluorescentnog zračenja ispitivanog elementa koriste se balansni filtrovi. Njihova primena zavisi od karakterističnih prekida u krivi masenog absorpcionog koeficijenta pojedinih elemenata u funkciji energije fotona, tzv. absorpcionih ivica. Absorpcione ivice nikla i kobalta se nalaze neposredno ispod i iznad K X-fluorescentnog fotona bakra. Ako posmatramo transmisiju (sl. 2), koja je recipročna vrednost absorpcije, primećujemo da će energetski opseg između ove dve ivice delovati kao »propusni pojas« za energije fotona koje leže između njih, u ovom slučaju za fluorescentne K X-fotone Cu.

Pažljivom selekcijom debljine filtrova može se postići da njihova transmisija bude jednaka u širokom opsegu energija, sem u slučaju uskog opsega »propusnog pojasa«. Na taj način će razlika u intenzitetu fluorescentnih X-zračenja između balansnih filtrova Co i Ni, predstavljati intenzitet K X-fotona Cu, odnosno, biće linearno zavisna od koncentracije

Cu u ispitivanom materijalu. Sem nekoliko izuzetaka, moguće je načiniti ovakve K X-filtrove za praktično sve elemente. U nekim slučajevima, umesto K X-filtrova, se koriste L X-absorpcioni filtrovi.



Sl. 2. Transmisija X-zračenja kroz balansne filtrove od kobalta i nikla.

Uspešna primena metode zavisi, pored parova balansnih filtrova za izdvajanje fluorescentnih fotona, i od mogućnosti nabavke odgovarajućih izotopskih izvora gama ili X-fotona. Teorijski, optimalna ekscitacija fluorescentnog zračenja postiže se pobuđivanjem izvorom monoenergetskih fotona, čija je energija samo nešto veća od energije absorpcione ivice ispitivanog elementa. Dok je ovaj zahtev relativno lako postići kod elektronskih izvora X-zračenja, postoji relativno vrlo mali broj radioaktivnih izotopskih izvora koji ispunjavaju ove zahteve. Radi toga se koriste i izvori na principu zakočnog zračenja (»bremsstrahlung«), premda su oni manje povoljni iz većeg broja razloga. U tabeli 1 dati su neki od izotopskih izvora, koji se najčešće koriste kod prenosnih instrumenata.

Parovi balansnih filtrova za izdvajanje fluorescentnog zračenja mogu da se načine od tankih metalnih folija ili, što se više primenjuje, od fino sprašenih jedinjenja odgovarajućih elemenata ravnomerno raspoređenih u folijama od plastičnog materijala (epoxy, polietilen i sl.). Folije od polietilena su najpogodnije, pošto su elastične i dobro podnose razne nepovoljne uticaje pri radu na terenu.

U tabeli 2 su dati neki elementi, za koje mogu da se nabave komercijalno izrađeni balansni filtrovi. Radi se na izradi K X-filtrova i za Cr, Mn, Zr, Ba i W i oni će verovatno moći da se nabave krajem ove godine.

Tabela 1

Najčešće upotrebljeni izotopni izvori

Izvor	Vreme poluraspada	Energije fotcna keV	Broj fotona po raspadu	Tipična aktivnost u mC
^{55}Fe	2.7 g	5.9	0.28	1—5 mC
^{57}Co	270 d	6.4 122	0.88	0,5 mC
^{238}Pu	86.4 g	12—17	0.13	10 mC
^{109}Cd	1.3 g	22 88	1.07 0.04	1 mC
^{3}H/Zr	12.3 g	2—12 2	$4 \cdot 10^{-5}$ $1 \cdot 10^{-4}$	1—3 C
^{147}Pm/Al	2.6 g	10—100	0.2	0.5 C
^{241}Am	458 g	14—21 26 59.6	0.37 0.02 0.36	10 mC

Napomena:

^{147}Pm/Al izvor daje zakočno zračenje (»bremsstrahlung«) sve do 260 keV, ali je intenzitet dosta nizak iznad 100 keV. Umesto Al može da se koristi i Zr ili staklo. ^{3}H/Zr je takođe izvor koji daje zakočno zračenje.

Tabela 2

Komercijalno izrađeni filtrovi za neke elemente

Elemenat	Izvor	Balansni filtrovi
Ti	^{55}Fe	Ti/Ca ili Ti/Sc
Fe	^{238}Pu,A	Mn/Cr
Cu	^{238}Pu,A	Ni/Co
Zn	^{238}Pu, ^{109}Cd,A	Cu/Ni
Mo	^{109}Cd	Zr/Y
Sn	B	Ag/Pd
Ni	^{238}Pu,A	Co/Fe
Pb (K X)	^{57}Co	Ir/Re
Pb (L X)	^{238}Pu,^{109}Cd	Ge/Ga
W (L X)	^{238}Pu	Cu/Ni

Napomena:

Izvor sa oznakom A je »bremsstrahlung« izvor ^{3}H/Zr;
izvor sa oznakom B je »bremsstrahlung« izvor ^{147}Pm/Al.

DETEKTOR I ELEKTRONIKA

Kao detektori zračenja se koriste proporcionalni brojači punjeni mešavinom argona i metana (90% Ar i 10% metana) i scintilacioni brojači sa kristalima NaJ(Tl) ili CsJ(Tl). Premda se kod proporcionalnih brojača može da postigne nešto bolja elektronska diskriminacija, oni su mehanički manje pogodni za rad na terenu, radi čega se u poslednje vreme skoro isključivo koriste scintilacioni detektori. Pošto je energija fotona koji se detektuju u većini slučajeva manja od 50—70 keV, vrlo visoka efikasnost se postiže i sa srazmerno tankim kristalima NaJ ili CsJ i najčešća je debljina kristala oko 2 mm. Debljim kristalima se efikasnost ne bi povećala, dok bi se samo dobilo povećanje osetljivosti na kosmičko zračenje i zračenje fotona prirodnih radioaktivnih elemenata (U, Th i K) u stenama, odnosno, opšte povećanje fona instrumenta.

Filtrovi su montirani neposredno ispred detektora i mogu se menjati jednostavnim mehanizmom. Izotopni izvor je postavljen ispred filtrova; direktno zračenje prema detektoru je umanjeno za faktor od više stotina olovnom pločicom na kojoj je izvor postavljen. Zračenje u suprotnom smeru, tj. suprotnom od detektora, kada se instrumenat ne koristi, eliminisano je olovnom pločicom ispred izvora. Prilikom merenja i postavljanja odgovarajućeg filtra ispred detektora, ova pločica se automatski uklanja.

Selekciju fluorescentnih fotona moguće je izvršiti, bar teorijski, i pomoću elektronskog jednokanalnog diskriminatora. Međutim, ovde postoje znatne teškoće. Scintilacioni detektor sa kristalom NaJ ili CsJ ima vrlo lošu energetsku rezoluciju na niskim energijama, te ne dolazi u obzir za elektronsku selekciju. Proporcionalni brojač ima nešto bolju elektronsku rezoluciju, ali je ona daleko niža od potrebne. Idealno rešenje bi predstavljao poluprovodnički detektor (»Solid-state detector«), naročito kod teških metala, ali on zahteva, pored komplikovanije elektronike, i hlađenje tečnim vazduhom ili azotom, te praktično za sada ne dolazi u obzir za terenske instrumente.

Međutim, i pored loše rezolucije detektora, primena jednokanalnog diskriminatora može vrlo mnogo da pomogne u uklanjanju odbijenih primarnih fotona (»backscatter«). Podešavanjem elektronskog diskriminatora da propušta samo opseg energija u kome se javljaju fluorescentni fotoni, može u znatnoj meri da poveća osetljivost instrumenta.

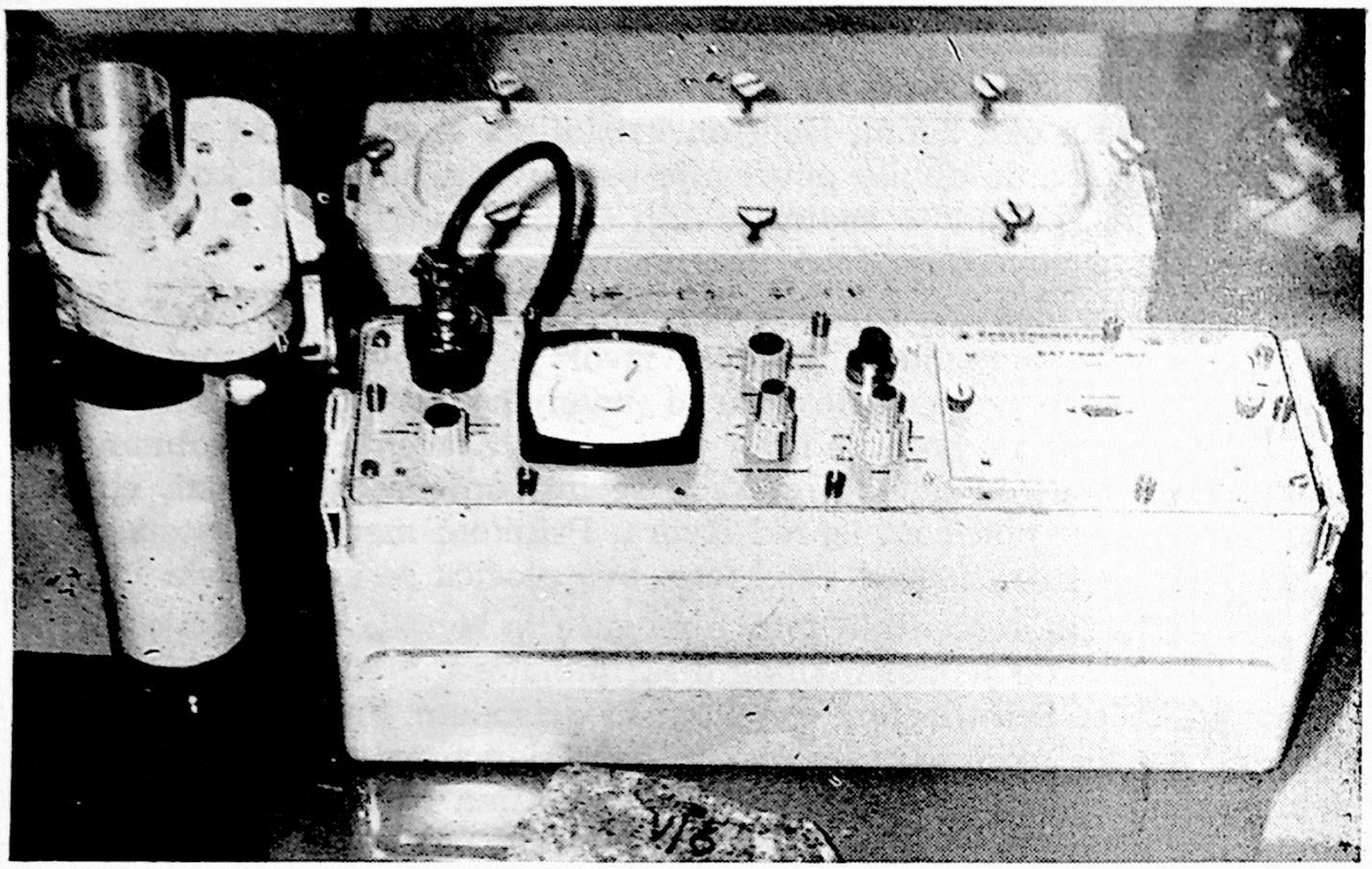
Energija odbijenog zračenja je nešto niža od energije fotona izvora, a može se odrediti postavljanjem detektora na stakleni blok. Staklo daje tipično odbijeno zračenje, bez intenzivnijih fluorescentnih fotona. Podešavanjem diskriminatora može se postići znatno smanjivanje uticaja odbijenog zračenja i selekcija fluorescentnih fotona koji se mere. Razume se, usled ograničene energetske rezolucije detektora, primena balansnih filtrova je još uvek neizbežna.

Kao memorija i indikator intenziteta danas se uglavnom koristi elektronski integrator impulsa, premda bi se znatno bolji rezultati mogli postići primenom digitalnog brojača (portabilni skaler sa »nixie« indikatorima).

OPIS PRIMENJENOG INSTRUMENTA

Instrumenat za ova merenja je nabavljen kod engleske firme »Nuclear Enterprises Ltd.« i sastoji se od prenosnog analizatora-integratora NE 8433 i sonde-detektora NE 5527 (sl. 3).

Detektor u sondi se sastoji od kristala NaJ/TlT prečnika 3,7 cm i debljine 2 mm, sa prozorom od Be debljine 0,2 mm. Fotomultiplikator je EMI



Sl. 3. Prenosni analizator-integrator NE 8433 i sonda-detektor NE 5527 engleske firme »Nuclear Enterprises Ltd.« sa kontejnerom.

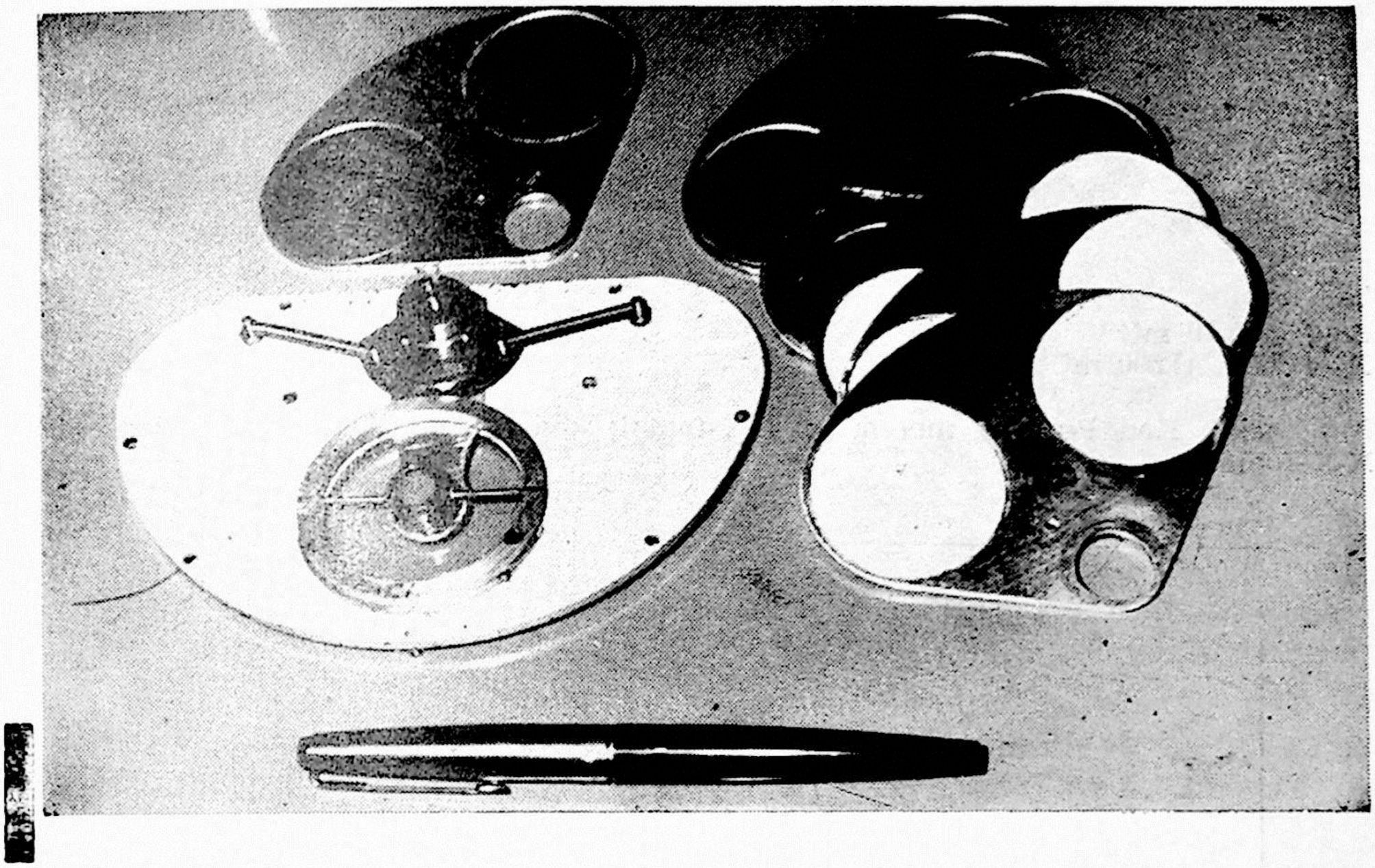
6097 posebno odabran radi niskog šuma. Transformacija između visoke impedance izlaza fotomultiplikatora i niske impedance ulaza analizatora ostvarena je tranzistorskim predpojačivačem.

Kao izvori zračenja koriste se 10 mC ^{238}Pu ili 500 mC ^{147}Pm/Al »bremsstrahlung« izvor. Izvori su postavljeni na olovnoj pločici, radi smanjivanja direktnog zračenja prema detektoru (sl. 4). Ovo je potpuno postignuto kod izvora ^{238}Pu (fon sa izvorom je samo dva puta veći od prirodnog fona od oko 10 μR/Hr); direktno zračenje je još uvek dosta visoko kod ^{147}Pm/Al izvora (gama-spektrometrom su kod ^{147}Pm/Al izvora detektovani neki pikovi, koji ne pripadaju ovom izotopu, radi čega se može pretpostaviti da sadrži neke nuklearne nečistoće).

Prenosni analizator-integrator NE 8433 je vrlo lak i portabilan, izrađen je sa integrisanim kolima i može da radi na baterije, nikl-alkalne akumulatore ili na električnu mrežu. Ima jednokanalni analizator i integrator sa 100, 300, 1000, 3000, 10000 i 30000 imp/sec pune skale, pri vremenskoj konstanti od 10 sec na prva tri opsega i 4 sec na ostalima. Kao indikator služi 4" 270° instrumenat; moguća je supresija nule za tri faktora pune skale.

Pošto je instrumenat načinjen sa silikonskim tranzistorima i integrisanim kolima, stabilnost u radu je dobra i temperaturne varijacije nemaju većeg uticaja.

Uz instrumenat su nabavljeni i balansni filtrovi za Cu, Zn, Pb (L X--filtar), Ni, Mo, Sn i Ti (sl. 4).



Sl. 4. Delovi sonde prenosnog analizatora: nosač radioaktivnog izvora i parovi balansnih filtrova.

EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Instrumenat je bio isporučen krajem septembra 1968., te je, usled kratkoće vremena koje je stajalo na raspoloženju, sa njime izvršen samo ograničen broj eksperimenata. Većina eksperimenata je vršena sa veštačkim uzorcima, načinjenim od kvarcnog brašna i oksida odgovarajućih metala. Izvršeno je i nekoliko eksperimenata na dnevnom kopu u Majdanpeku.

Kao merilo osetljivosti uzet je broj registrovanih fluorescentnih fotona u sekundi po procentu ispitivanog elementa u materijalu. Pošto je statistička devijacija integratora na najčešće korišćenom opsegu od 1000 imp/sec iznosila oko 50 imp/sec, obračunate su i apsolutne greške za pojedine elemente. Ovi rezultati su dati u tabeli 3.

Potrebno je napomenuti da se osetljivost za neke elemente može da poveća u znatnoj meri, ako bi se upotrebio izvor povoljnije energije. Ovo se odnosi na Mo (povoljniji izvor bi bio ^{109}Cd), i u znatno većoj meri, na Ti (^{55}Fe) i W (^{57}Co). U stvari, kod volframa je korišćen par balansnih filtrova za cink, pošto volframov L X-foton ima sličnu energiju kao i K X-foton cinka.

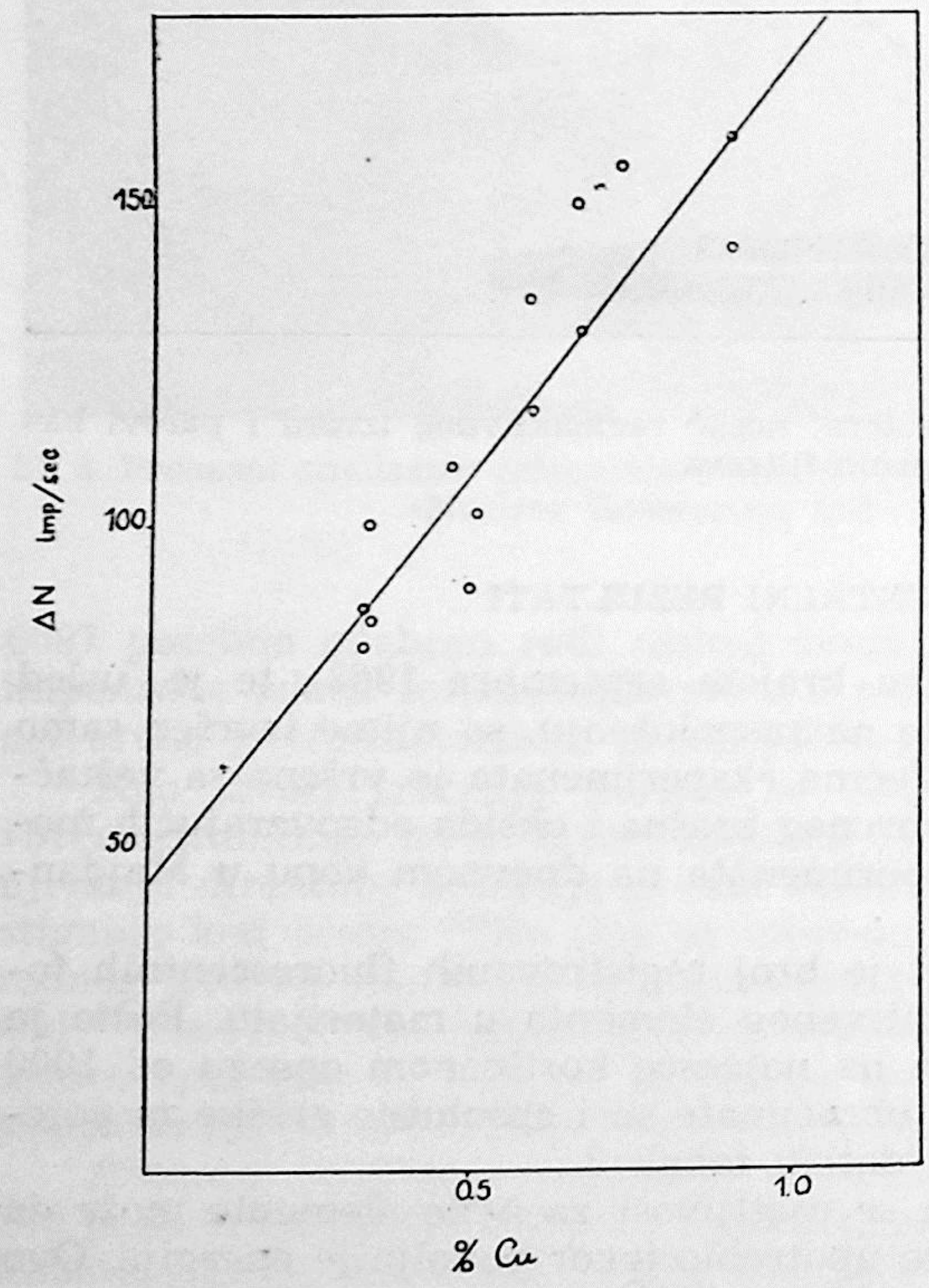
Tabela 3

Osetljivost detekcije nekih elemenata

Elemenat	Izvor	Osetljivost, imp/sec/1 %	Apsolutna greška, % elementa
Zn	A	1000	0.05
Ni	A	560	0.10
Cu	A	500	0.10
Pb	A	265	0.20
Mo	A	200	0.25
W	A	44	1.1
Ti	A	10	5.0
Sn	B	1000	0.05

Tip izvora
A — ^{238}Pu,10 mC
B — ^{147}Pm/Al,500 mC

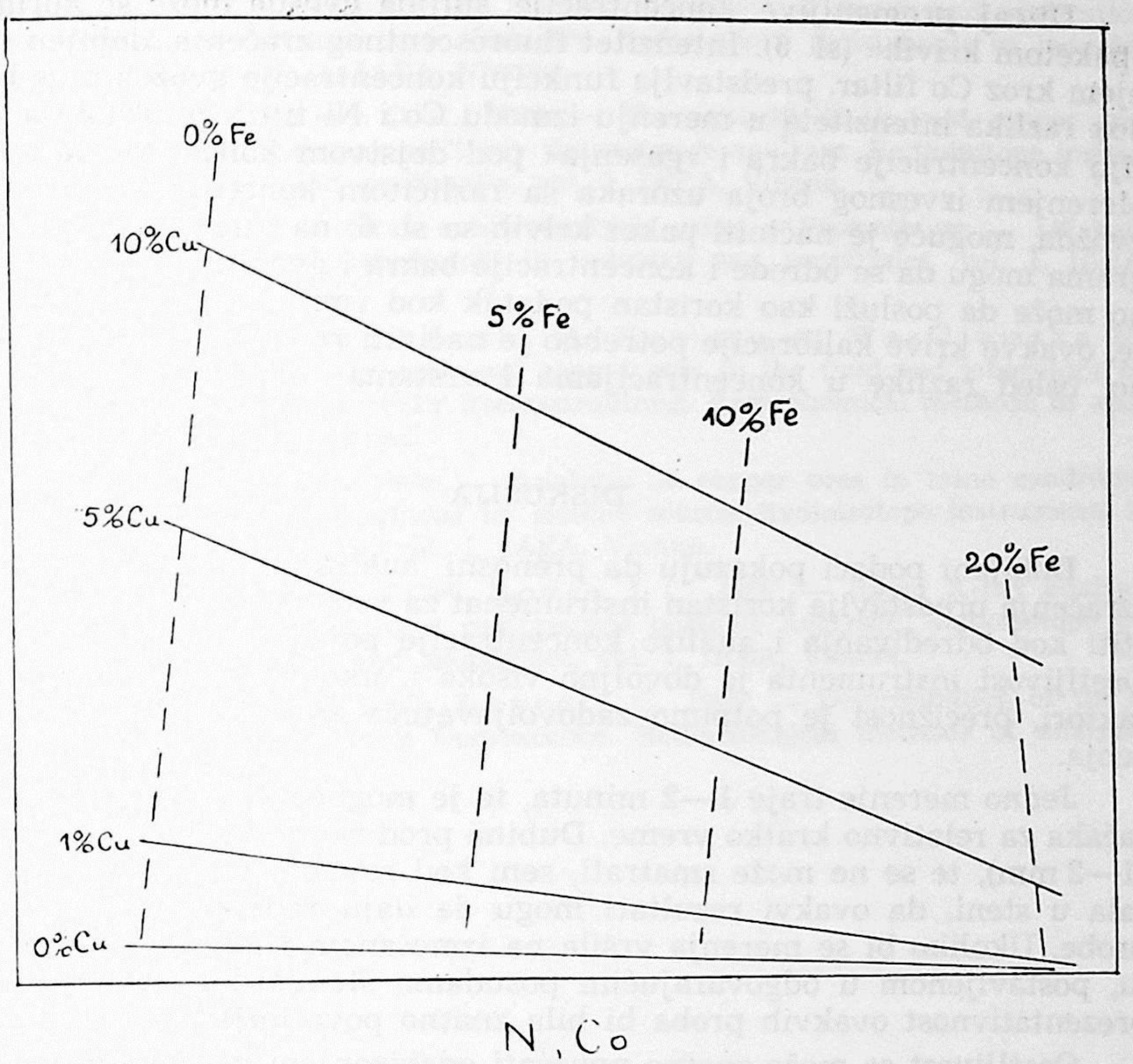
Napomena: Kod Pb i W mereni su L X-fotoni; kod ostalih elemenata mereni su K X-fotoni.



Sl. 5. Kriva kalibracije za bakar dobijena na materijalu iz Majdanpeka na osnovu merenja »in situ«.
Abscisa — hemijski određen sadržaj bakra.
Ordinata — razlika intenziteta fluorescentnih X-fotona određena prenosnim analizatorom.

Što se tiče kalaja, i pored relativno visoke osetljivosti, date u tabeli 3, kod određivanja ovog elementa postoje izvesne teškoće, usled visokog nivoa fona pri primeni ^{147}Pm/Al izvora. Pošto je visokim fonom instrume-

nat doveden u nelinearni deo opsega (»mrtvo vreme« instrumenta je oko $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ sec), analize kalaja se mogu smatrati samo kao semi-kvantitativne.



Sl. 6. Krive zavisnosti razlike intenziteta fluorescentnih X-fotona od intenziteta fona kroz kobaltni filter za promenljive sadržaje bakra i gvožđa u veštačkim uzorcima.

Rezultati kalibracije, dobijeni na veštačkim uzorcima, ne mogu da se primene direktno kod određivanja sadržaja »in situ«, sem u slučaju kada je sastav stena sličan sastavu materijala upotrebljenog za standarde, zbog uticaja »efekta matriksa«. Na primer, kriva kalibracije za bakar, dobijena na veštačkim uzorcima, nije mogla da se primeni direktno kod materijala iz Majdanpeka, usled drukčijeg sastava matriksa. Pored razlike u veličini zrna, koja ima manji uticaj, materijal iz Majdanpeka sadrži i sulfide gvožđa, koji absorbuju kako primarne fotone izvora, tako i fluorescentne X-fotone. Na dijagramu (sl. 5) data je kriva kalibracije dobijena na materijalu iz Majdanpeka na osnovu merenja »in situ«. Nagib krive je manji nego kod krive dobijene merenjem »kvarcnih standarda« i pada u oči da se i kod ekstrapolisane »nulte« koncentracije bakra još uvek dobija izvestan signal. Ova pojava je nastala usled debalansnog efekta zbog prisustva sulfida gvožđa.

Međutim, linearnost između koncentracije bakra i broja impulsa je sačuvana i ovakav dijagram se može da upotrebi za određivanje koncentracije bakra u rudi.

Uticaj promenljive koncentracije sulfida gvožđa može se korigovati »paketom krivih« (sl. 6). Intenzitet fluorescentnog zračenja, dobijen merenjem kroz Co filtar, predstavlja funkciju koncentracije gvožđa plus bakra, dok razlika intenziteta u merenju između Co i Ni filtra predstavlja funkciju koncentracije bakra i »gašenja« pod dejstvom koncentracije gvožđa. Merenjem izvesnog broja uzoraka sa različitom koncentracijom bakra i gvožđa, moguće je načiniti paket krivih sa sl. 6; na osnovu ovakvog dijagrama mogu da se odrede i koncentracije bakra i gvožđa u rudi, što sigurno može da posluži kao koristan podatak kod ispitivanja ležišta. Razume se, ovakve krive kalibracije potrebno je načiniti za svaki tip ležišta posebno, usled razlike u koncentracijama i vrstama »gasećih« komponenata.

DISKUSIJA

Dobijeni podaci pokazuju da prenosni analizator fluorescentnog X-zračenja predstavlja koristan instrumenat za rudarstvo i da se može koristiti kod određivanja i analize koncentracije pojedinih metala »in situ«. Osetljivost instrumenta je dovoljno visoka i, ukoliko se koriguju izvesni faktori, preciznost je potpuno zadovoljavajuća za većinu rudarskih merenja.

Jedno merenje traje 1—2 minuta, te je moguće analizirati veliki broj tačaka za relativno kratko vreme. Dubina prodiranja, međutim nije velika (1—2 mm), te se ne može smatrati, sem kod ravnomernog rasporeda metala u steni, da ovakvi rezultati mogu da daju reprezentativne srednje probe. Ukoliko bi se merenja vršila na izmešanom i isitnjenom materijalu, postavljenom u odgovarajućim posudama standardne geometrije, reprezentativnost ovakvih proba bi bila znatno povoljnija.

Osetljivost se može znatno povećati odabiranjem najpovoljnijeg izvora za pojedine elemente.

Dalje povećanje osetljivosti moglo bi se postići primenom digitalnog brojača umesto analognog integratora. Razume se, preciznost i osetljivost integratora može se povećati produžavanjem vremenske konstante, ali se ovim znatno produžuje vreme merenja i instrumenat pokazuje karakterističnu »lenjost« u reagovanju. Sa druge strane, pri istom vremenu merenja, primenom digitalnog brojača osetljivost se može povećati za najmanje faktor četiri. Povećanjem vremena merenja, na primer, 2 minuta, kod primene digitalnog brojača bi bilo moguće postići apsolutnu grešku kod bakra manju od 0,01%. Dalje smanjivanje greške, usled dejstva raznih faktora, po našem mišljenju ne bi se moglo postići, sem u nekim posebno povoljnim slučajevima.

Pošto prenosni analizator fluorescentnog X-zračenja predstavlja jedan srazmerno nov instrumenat, saradnjom rudarskih inženjera, geologa, fizičara, elektroničara i ostalih zainteresovanih stručnjaka moguće je izvršiti znatna poboljšanja njegove preciznosti i osetljivosti.

(Predato za štampu januara 1969. god.)

LITERATURA

1. Bowie S. H. U., 1968: — Portable X-ray fluorescence analysers in the mining industry. Mining magazine, vol. 118 No. 4, London.

2. Clayton C. G., Cameron J. F., 1966: — A rewiew of design and application of radioisotope instruments in industry. Radioisotope instruments in industry and geophysics, vol. I, IAEA, Vienna.

3. Darnley A. G., Leamy C. C., 1966: — The analysis of tin and copper ores using a portable radioisotope X-ray fluorescence analyser. Radioisotope instruments in industry and geophysics, vol. I, IAEA, Vienna.

4. Enomoto S., 1966: — X-ray spectroanalysis using a Promethium — 147 beta source. Radioisotope instruments in industry and geophysics, vol. I, IAEA, Vienna.

5. Florkowski T., Dziunikowski B., Kosiara A., Wasiliewska M., 1965: — Analysis of iron, zinc and copper ores in the field and laboratory by fluorescence excited by H^3/Zr Bremsstrahlung. Radiochemical methods of analysis, vol. II, IAEA, Vienna.

6. Niewodniczanski J., 1966: — Analysis of copper ores in mine conditions by X-ray fluorescence induced by isotope source. Radioisotope instruments in industry and geophysics, vol. I, IAEA, Vienna.

7. Rhodes J. R., Packer T. W., Boyce I. C., 1966: — Rapid X-ray analysis of copper and steels using a radioisotope portable analyser. Radioisotope instruments in industry and geophysics, vol. I, IAEA, Vienna.

8. Rhodes J. R., Ahier T. G., Boyce I. C., 1965: — Determination of tin in tin ores by isotope X-ray fluorescence. Radiochemical methods of analysis, vol. II, IAEA, Vienna.

Summary

SLAVIŠA GOJKOVIĆ*
RUŽICA NEDIMOVIĆ*

DIRECT DETERMINATION OF SOME METALS »IN SITU« BY PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE ANALYZER

The portable X-ray fluorescence analyzer represents an useful instrument for direct determination of a number of metals in situ. The principle of operation of such an instrument is based on the irradiation of investigated material — ore samples, mining sites, cores from the drill-holes and similar —, by a suitable radioactive source and by measurement of the fluorescent radiations with a detector. By selection of the energy of source and the apsorption curve of the filter-pairs, it is possible to select and determine a number of elements.

The autors have experimented to determine the sensitivity of this method on a number of artificialy prepaired samples closely resembling

* Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

the ore materials. In these investigations they have used a commercialy available portable instrument of moderate sensitivity. The results are encouraging, particularly for copper, where the absolute error has been less than 0.1% Cu. The better electronical solution, such as a digital counter, may increse the sensitivity by a factor of 5 or higher for all the elements represented in table 3.

The instrument is simple to operate and is used in the similar way as a portable GM or scintillation counter. It is possible to analyse a great number of samples in a relatively short period, due to fact that a single determination takes less than a minute.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

TOPLICA JANČIĆ

UDK = 550.831+550.837 (497.16)

O MOGUĆNOSTI PRIMENE GEOFIZIČKIH METODA U CILJU OTKRIVANJA LEŽIŠTA BARITA U OBLASTI PLJEVLJA, SR CRNA GORA

U članku se daje kratak osvrt na uslove i mogućnosti primene geofizičkih metoda ispitivanja u cilju otkrivanja baritskih rudnih tela na terenu Podkovač — Kovač planina u oblasti Pljevlja. Ukazuje se da bi kombinovana električna i gravimetrijska ispitivanja, u određenim uslovima pojavljivanja barita, mogla dati rezultate preko kojih bi se stvorili uslovi za indiciranje baritskih rudnih tela, ali da je obim izvršenih radova ipak nedovoljan za izvođenje pouzdanih zaključaka.

Prema raspoloživim podacima iz stručne literature možemo reći da su istraživanja baritskih pojava na Kovač planini, odnosno u oblasti Pljevlja, počela u 1948. godini. Te godine zahvaćen je rejon Podkovača, gde su na lokalnostima Guta i Podguta utvrđena rudna tela barita koja su sa prekidima eksploatisana sve do 1955. godine od strane rudnika uglja — Pljevlja.

Pošto je konstatovano da rudna tela barita zaležu u dubinu, pored površinskih radova (raskopi i pliće šahte) izvođeni su i jamski uz orijentaciono oprobavanje rudne mase.

U 1954. godini ovde su obavljena i prva električna ispitivanja metodom specifičnog otpora, ali ona nisu dala željene rezultate, s obzirom da se nije raspolagalo odgovarajućom geološkom osnovom, što je jedan od bitnih uslova za njihovu uspešnu interpretaciju.

Kako su sva ova istraživanja (obavljena uglavnom do kraja 1957. godine) bila jednostrana i skoro nesistematska, to se počev od 1965. godine, na zahtev rudnika uglja — Pljevlja, pristupilo izradi geološke studije. U njoj su učestvovali stručnjaci Rudarsko-geološkog fakulteta iz Beograda i rudnika uglja iz Pljevlja. Na inicijativu predstavnika rudnika uglja — Pljevlja došlo je do saradnje sa stručnjacima Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina iz Beograda, koji su angažovani po pitanju primene geofizičkih metoda u cilju pokušaja izdvajanja baritonosne serije i indiciranja kompaktnih baritskih rudnih tela, kao i određivanja reljefa podloge baritonosne serije predstavljene krečnjacima i eventualnih tektonskih razloma koji su od uticaja na formiranje i raspored rudnih tela barita.

U 1967. godini primenjene su električne metode: specifičnog otpora i izazvane polarizacije — sondiranje i kartiranje, a u 1968. godini magnetna i gravimetrijska metoda (Gravimetrijska ispitivanja izvodio je Zavod za geološka i geofizička istraživanja iz Beograda). Ove radove su zajednički finansirali rudnik uglja — Pljevlja i Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina.

Poznavanje podataka o genezi baritskog orudnjenja (hidrotermalni tip) i njegovom položaju u seriji kampilskih i sajskih slojeva navučenih preko ladinsko-karnijske krečnjačke podine, uslovilo je i metodologiju izvođenja geofizičkih radova na terenu: gustinu mreže električnog sondiranja i kartiranja, raspored tačaka na kojima je merena razlika intenziteta vertikalne komponente Zemljinog magnetnog polja (ΔZ) i ubrzanja sile teže (Δg), kao i izbor mesta za merenje pojedinih fizičkih parametara rude i stena (u prirodnim uslovima zaleganja) i uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja. Izučavani su sledeći parametri: električna otpornost (ρ), koeficijent izazvane polarizacije (η), gustina (σ) i magnetni susceptibilitet ($\varkappa$) kako bi se što pouzdanije mogli interpretriati rezultati ispitivanja pojedinim geofizičkim metodama.

Merenja fizičkih parametara na terenu i laboratorijska ispitivanja uzoraka (32 komada) ukazali su na karakteristike rudne mase i stena koje se javljaju na terenu Podkovač. Dobijeni rezultati dati su u tabeli 1 koja sledi:

Tabela 1

Vrsta stene — rude	Električna otpornost ohmm	Koeficijent polarizacije %	Magnetni susceptibilitet x10-⁶CGS	Gustina gr/cm³
Krečnjak	110—1600	0,35—0,60	10—70	2,65—2,75
Kvarcni peščar i kvarcit	250—6000	0,76—0,80	60—100	2,63—2,68
Glinoviti peščar i argilošist	40— 120	0,30—0,60	30—150	2,45—2,57
Barit	220— 900	0,34—0,64	oko 10	3,47—4,52

Jasno je da su podaci o fizičkim parametrima rude i okolnih stena sa terena Podkovač takvi da kod primene geofizičkih metoda može doći do slučajeva kada je njihove rezultate praktično veoma teško koristiti. Uzimajući ove podatke u obzir može se reći sledeće:

Interpretacija rezultata električnih ispitivanja u mnogome je bila olakšana činjenicom da smo preko podataka bušenja mogli ustanoviti korelativnu vezu koja postoji između geološkog sastava terena i tipova dijagrama električne otpornosti i koeficijenta polarizacije. Naime, pokazalo se da su odnosi pojedinih geoloških sredina takvi da pružaju mogućnost njihovog međusobnog razdvajanja, jer u većini slučajeva na ovom terenu kvarcni i glinoviti peščar i argilošist leže iznad krečnjačke podine, a retko kvarcit. Otuda je granicu između ovih geoloških sredina, odnosno dubinu do podinskih krečnjaka, bilo moguće odrediti sa tačnošću koju pružaju primenjene električne metode. Samo kada kvarcni peščari prelaze u kvarcite i u direktnom kontaktu su sa krečnjacima može se desiti da je teško odrediti granicu između njih primenom električnih metoda.

U slučaju kada je barit polomljen i ispucao, sa šupljinama zapunjenim peskovito-glinovitim materijalom, vrednost električne otpornosti se uklapa u onu za kvarcne peščare i krečnjake, pa ga je teško izdvojiti od ovih dveju geoloških sredina.

Da bi se kompaktan barit izdvojio od ostalih geoloških članova baritonosne serije i u slučajevima kada ima visoke vrednosti električne otpornosti, potrebno je da su baritska rudna tela većih dimenzija, a da je pokrivač iznad njih manje debljine.

Izdvajanje barita od podinskih krečnjaka primenom električnih metoda otežano je s obzirom na veličine električne otpornosti i koeficijenta polarizacije za obe sredine, mada olakšavajuću okolnost predstavlja pojava sloja tektonske gline između barita i krečnjaka, pošto istu karakteriše smanjenje električne otpornosti. Naročito je povoljan slučaj kada je sloj gline deblji od 1,5 metra.

Otkrivanje baritskog orudnjenja magnetnim ispitivanjem bilo bi moguće s obzirom na veličinu magnetnog susceptibiliteta stena i rudne mase, ali ovde su dolazile do izražaja facijalne promene stenskih masa krovine, pojava crvenice u krečnjacima i promena sastava diluvijalnog nanosa.

Očekivali smo da u domenu baritskih rudnih tela dobijemo niže vrednosti ΔZ, međutim napred navedeni uzroci uslovili su takav izgled plana izodinama ΔZ, odnosno raspored anomalnih zona na ispitivanoj površini da iste nismo mogli povezati sa položajem baritskog orudnjenja konstatovanog bušenjem iz prethodnih godina. Stoga se nameće zaključak da primenom magnetne metode, u geološkim uslovima kakvi su na terenu Podkovač, ne možemo doći do podataka koji bi doprineli direktnom indiciranju baritskog orudnjenja.

Kao najpogodnija geofizička metoda za izdvajanje baritskih rudnih tela, s obzirom na postojeće razlike u gustinama, smatrana je gravimetrijska metoda, pogotovu za slučajeve kada su dimenzije rudnih tela veće i kada se radi o kompaktnoj rudnoj masi. Ipak, merenja veličine Δg na samom terenu pokazala su da su promene ubrzanja sile teže neznatna i da se kreću skoro u granicama površinskog uticaja koji nije mogao biti otklonjen iako je postojala detaljna topografska osnova za deo terena gde su obavljena gravimetrijska ispitivanja.

S druge strane, na rezultate gravimetrijskog ispitivanja vidnog uticaja imao je oblik reljefa krečnjačke podine. Otuda iznad samog baritskog orudnjenja, bez obzira na znatne razlike u gustinama rudne mase i krečnjaka, nisu dobijene izrazitije gravimetrijske indikacije. Razlog ovome je svakako činjenica što se barit nalazi u udubljenjima reljefa podine, pa je došlo do približnog izjednačavanja gravimetrijskog uticaja izazvanog sufícitom mase nastalim zbog prisustva barita i izdignutih delova podine sa strane rudnog tela. To znači da se može desiti da, iako se dobije gravimetrijski maksimum, ne bi na osnovu tog podatka bili sigurni da li se radi o uticaju barita ili reljefa krečnjačke podine. Prema tome i gravimetrijska metoda, sama za sebe, ne bi se mogla potpuno uspešno primeniti za izdvajanje baritskog orudnjenja u uslovima kakvi su na Podkovaču i njemu sličnim terenima.

Međutim, analiza rezultata električnih i gravimetrijskih ispitivanja i njihovo međusobno poređenje, pružili su nam izvesnu perspektivu da se kombinovanom primenom ovih dveju metoda, u određenim uslovima, može

ukazati na prisustvo baritskih rudnih tela. Naime, električnim sondiranjem dobili bi se podaci o morfologiji podine, tj. bilo bi moguće izdvojiti udubljenja u reljefu u kojima se, prema dosadašnjem poznavanju geoloških karakteristika terena Podkovač, uglavnom javlja baritsko orudnjenje. Ako bi se pak iznad udubljenja reljefa podine dobili porasti vrednosti Δg, tj. ako bi kriva Δg imala na tom delu svoj maksimum, sa velikom verovatnoćom se može očekivati prisustvo baritskog orudnjenja, s obzirom na razlike koje postoje u gustinama rude i okolnih stena. Čak i u slučajevima kada se iznad udubljenja reljefa podine i ne dobije maksimum Δg, već kriva Δg bude imala blag pozitivni gradijent, moguće je da to bude indikacija koja bi ukazivala na baritsko orudnjenje.

Dodajmo svemu ovome i mogućnost da dimenzije rudnih tela budu znatne, onda je i veća realnost da se prema rezultatima kombinovanih električnih i gravimetrijskih ispitivanja izdvajaju baritske rudonosne zone u geološkim uslovima jednakim sa ovim na Podkovaču.

Ipak je potrebno naglasiti da ova razmatranja rezultiraju iz još uvek nedovoljnog obima geofizičkih podataka, naročito gravimetrijskih, pa je prerano sa sigurnošću tvrditi da će kombinovana električna i gravimetrijska ispitivanja putem međusobnog dopunjavanja dobijenih rezultata zaista opravdati naša očekivanja i omogućiti izdvajanje delova terena sa rudom barita. Međutim, mišljenja smo da se ne sme stati na ovome, već da treba upotpuniti postojeće podatke i radove proširiti i na druge lokalnosti Kovač planine gde postoje uslovi za otkrivanje novih rudnih tela barita.

Na kraju bi ukazali na korist međusobne saradnje stručnjaka u radu na problemu kao što je ovaj čije rešavanje zahteva njegovo kompleksno sagledavanje, tj. timski rad i ulaganje značajnih finansijskih sredstava preko učešća više organizacija zainteresovanih za finansiranje određenog projekta.

(Predato za štampu februara 1969. god.)

LITERATURA

Adžić P. i saradnici, 1967: — Izveštaj za 1966. godinu o detaljnim geološkim istraživanjima barita rejona Guta — Podguta (Podkovač — Pljevlja). Fond stručnih dokumenata rudnika uglja, Pljevlja.

Vakanjac B. i Petković M., 1965: — Studija baritonosne formacije Podkovača (SR Crna Gora). Fond stručnih dokumenata rudnika uglja, Pljevlja.

Ivković D., 1968: — Izveštaj o gravimetrijskom ispitivanju na profilima preko rudnih pojava barita područja Podkovač. Fond stručnih dokumenata Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Beograd.

Jančić T., 1967: — Izveštaj o geofizičkim ispitivanjima na terenu Podkovač — Pljevlja. Fond stručnih dokumenata Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Jančić T., 1968: — Izveštaj o geofizičkim ispitivanjima na terenima Podkovač i Varine — SR Crna Gora. Fond stručnih dokumenata Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Krulc Z., 1954: — Geoelektrična ispitivanja (Pljevlja). Fond stručnih dokumenata rudnika uglja, Pljevlja.

Simić V., 1967: — Ispitivanja mogućnosti otkrivanja barita metodom IP na lokalnosti Podkovač — Bare. Fond stručnih dokumenata Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Summary

TOPLICA JANČIĆ*)

ON THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS IN EXPLORATION FOR BARITE DEPOSITS IN THE PLJEVLJA AREA, MONTENEGRO

The geophysical investigation at the locality of Podkovač has demonstrated that the separation of the barite enriched zones is possible, providing that there exist a good geological data for the area.

The present study of the results of electrical, magnetometric and gravimetric investigations has demonstrated that the best results may be obtained by combined application of the gravimetrical and electrical methods. These two methods are mutualy supplementing and, in a number of cases of favourable structural emplacement of barite bodies, it is possible to locate the places where the barite ore bodies may be expected.

The autor is careful in his opinion and he states that the present data, particularly gravimetrical, are insufficent to represent a firm foundation of this theory. He suggests that the combined electrical and gravimetrical investigations should have a more extensive application in the same and similar areas, before a valid conclusion may be reached.

*) Institute for geological and mining investigation and exploration of nuklear- and other mineral raw materials, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 5, 1969. god.

SVETLANA HADŽI-POPOVIĆ

UDK = 549.1:543.226

ODREĐIVANJE BROHANTITA I HALKANTITA PUTEM TERMIČKIH ISPITIVANJA

(sa 2 slike)

Putem diferencijalno-termičkih i termogravimetrijskih analiza smo u decembru 1965. g. odredili minerale brohantit i halkantit na uzorcima koji su pripadali Rudarsko-metalurškom kombinatu u Boru.

Ove analize su rađene do temperature od 1000° u vazdušnoj atmosferi. Kod DTA je termospoj Chromel-Alumel, osetljivost analize 0,1—1—10 mV, brzina zagrevanja 10°/min. Kod TGA je termospoj Pt—PtRh, brzina zagrevanja 5°/min., a termovaga Stanton, automatska

Iz dijagrama na sl .1, (a) i (b) se vidi da sve termičke transformacije pokazuju suštinsku identičnost. Pošto su vrlo oskudni podaci o diferencijalno-termičkim, a naročito o termogravimetrijskim ispitivanjima ova dva minerala, nadamo se da će ovaj naš pokušaj dati jedan skroman doprinos primeni metoda termogravimetrijske i diferencijalno-termičke analize u identifikaciji samog minerala i strukturnih odnosa u njemu.

BROHANTIT ($4CuOSO_3\,3H_2O$) sl. 1 (a)

Termičke transformacije zelenog praha ovog minerala mogu se svesti u dve faze, koje su sledeće:

1. Dehidratacione promene, koje obuhvataju sve endotermne procese do 500°, kao i sve gubitke i porast u težini u istom temperaturnom intervalu.

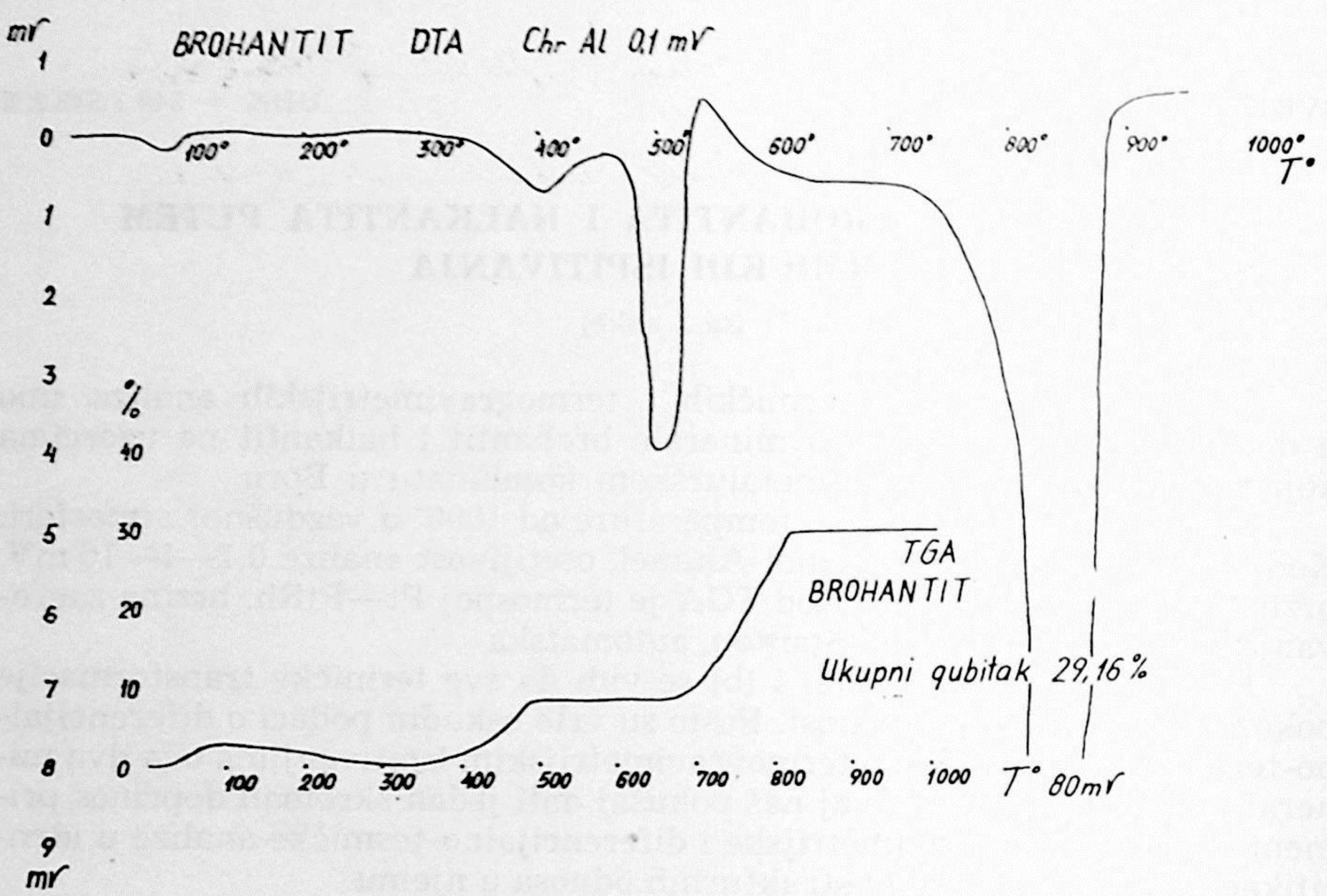
2. Disocijacione promene koje uklapaju sve endoprocese od 700° do 900° zajedno sa odgovarajućim gubitkom u težini.

Dehidratacija brohantita je dala gubitak u težini od 8,33%, a disocijacija $CuSO_4$, 20,83%, što predstavlja ukupan gubitak od prvobitne težine od 29,16%.

Naš DT dijagram smo upoređivali sa istim dijagramom brohantita u radu Cocco-a (lit. 1), a termogravimetrijske podatke sa tim dijagramom i sa sledećim odnosom koji daje Dana (lit. 2): sumportrioksid 7,7 : : kuprioksidu 70,3 : vodi 12,0 = 100.

Iz ovog odnosa proizilazi da bi gubitak u težini proizišao iz dehidratacije i disocijacije trebalo da bude 29,7%, dok smo mi termogravimetrijskom analizom dobili 29,16%, što je sasvim približno rezultatu kod D a n e (lit. 2).

Dehidratacija je dvostepena sa vrednošću od 2,77% i 8,33% — ukupno 11,10%, dok je po literaturi (lit. 2) njena vrednost 12,00%, što ih čini međusobno bliskim. Značajno je naglasiti, da se ovaj gubitak od 2,77% anulira jednim oksidacionim procesom, tako da drugi stepen dehidratacije nije zbir ova dva gubitka, već daje vrednost samo ovog drugog, što je samo 8,33%.



Sl. 1a

Disocijacijom, po lit. 2, gubitak u težini treba da bude 17,7%, a mi smo na našem TG dijagramu dobili 20,83%, što predstavlja znatno odstupanje od prvog, ali suštinski ne menja karakter promene. Zasada nismo u mogućnosti da to objasnimo.

Naš DT dijagram brohantita je identičan sa onim iz lit. 1, sa zanemarljivom razlikom u veličini i devijaciji za 50° kod endotermnog procesa na 100°.

HALKANTIT ($CuSO_45H_2O$) sl. 1 (b)

Termičke promene u strukturi halkantita, plavog praha, smo grupisali u dve faze i jednu međufazu.

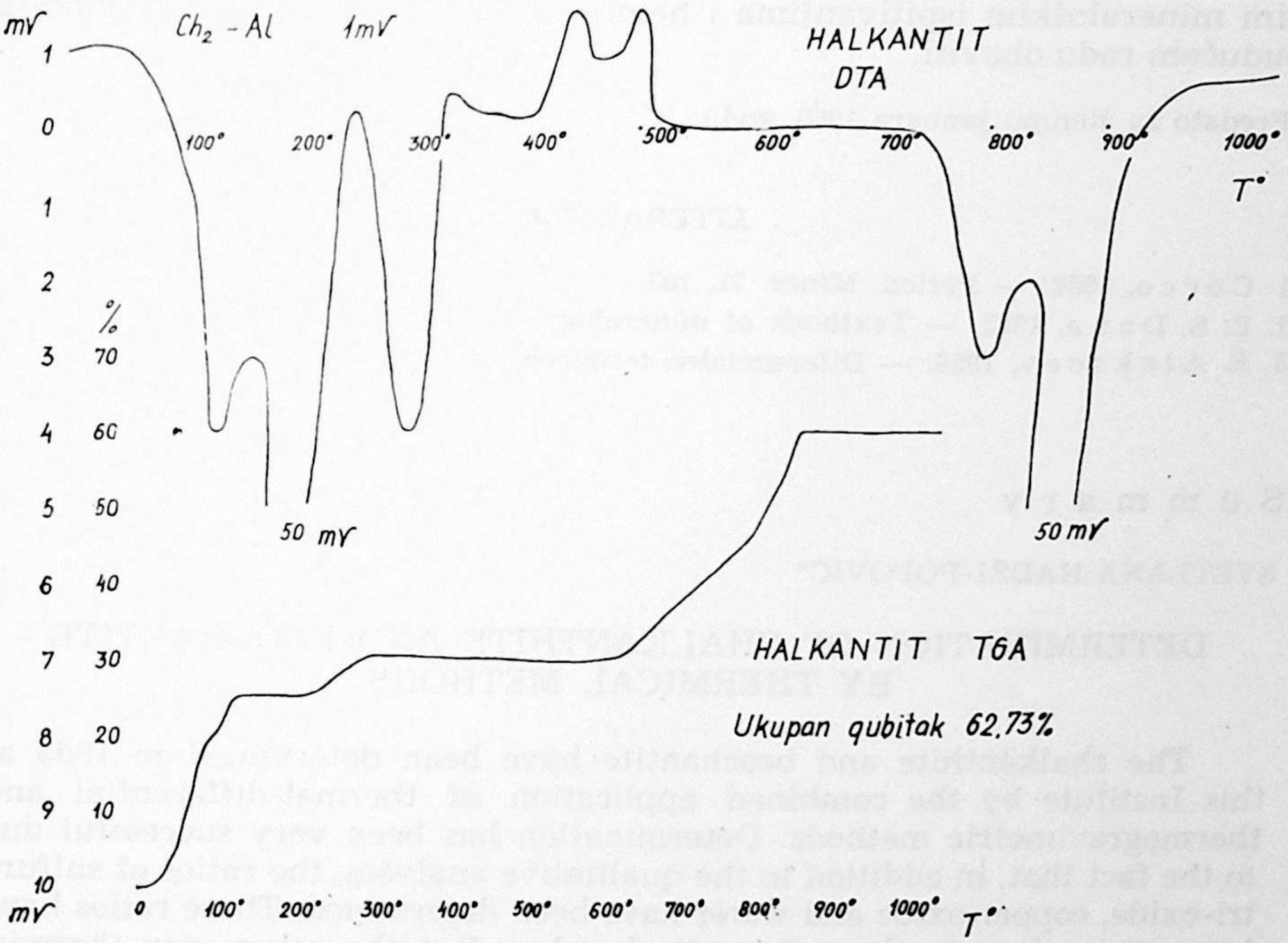
1. Dehidratacione promene, koje obuhvataju sve endotermne procese do 300° i odgovarajuće gubitke u težini.

2. Disocijacione transformacije koje se karakterišu endotermnim procesima od 700° do 900° i odgovarajućim gubicima u težini.

3. Međufaza predstavlja oksidacione promene sa odgovarajućim egzopikovima i porastom težine u intervalu od 400° do 500°.

Naš DT dijagram smo upoređivali sa istim, minerala halkantita kod A l e k s e e v a (lit. 3), a termogravimetrijski sa pomenutim dijagramom i sa sledećim odnosom koji daje D a n a (lit. 2) za halkantit: sumportrioksid 32,1 : kuprioksidu 31,8 : vodi 36,1 = 100.

Na osnovu ovoga, gubitak u težini, izazvan dehidratacijom i disocijacijom treba da bude 68,20%, dok je naša TGA dala manje, 63,35% te se time razlikuje od vrednosti lit. 2.



Sl. 1b

Dehidratacija je trostepena i zbog nje je mineral izgubio 32,91%, što ga čini manjim od D a n i n i h vrednosti (lit. 2) od 36,10%.

Usled disocijacije na našem TG dijagramu je zabeležen gubitak od 29,82%, što je opet manje od onoga kod lit. 2, odnosno od 32,10%.

Porast težine kod opisane međufaze je minimalan, svega 0,62%.

Iako težinski odnosi dehidratacije i disocijacije koje smo mi dobili na termogravimetrijskom dijagramu kod ispitivanog halkantita, odstupaju od onoga koje daje D a n a (lit. 2) za isti mineral, karakter promena i njihov relativan težinski odnos ne pokazuju nikakve razlike u odnosu na pomenutu literaturu, te nam samo ostaje da se ostalim ispitivanjima objasni uzrok ovih odstupanja.

ZAKLJUČAK

Naša ispitivanja pokazuju da se vrlo uspešno mogu određivati halkantit i brohantit samo diferencijalno-termičkom i termogravimetrijskom analizom i tada kada nisu identifikovani nijednom drugom metodom određivanja minerala. Kao vrlo dobrim se pokazalo upoređivanje strukturnih promena i njihovih težinskih vrednosti sa našeg TG dijagrama sa onim odnosima koje je D a n a (lit. 2) dao na osnovu hemijske analize za oba ova minerala.

Pomenuta odstupanja su proizašla prvenstveno zbog razlike u metodama, a zatim iz ostalih razloga koji se mogu objasniti samo kompleksnim mineraloškim ispitivanjima i hemijskom analizom, pa se ovo mora u budućem radu obaviti.

(Predato za štampu januara 1969. god.)

LITERATURA

1. C o c c o, 1952: — Period. Miner. 21, 103.
2. E. S. D a n a, 1955: — Textbook of mineralogy, str. 756—757 i 762—763. London.
3. E. A l e k s e e v, 1956: — Diferencialen termičen analiz. Sofia.

S u m m a r y

SVETLANA HADŽI-POPOVIĆ*

DETERMINATION OF CHALKANTHITE AND BROCHANTITE BY THERMICAL METHODS

The chalkanthite and brochantite have been determined in 1965 at this Institute by the combined application of thermal-differential and thermogravimetric methods. Determination has been very successful due to the fact that, in addition to the qualitative analyses, the ratios of sulfure tri-oxide, copper oxide and water have been determined. These ratios have been very close to their theoretical value. But the other, non-thermic, methods have to be applied to explain some of the deviation from the theoretical values.

* Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.