

## GEOKEMIJSKA METODA ZA ISTRAŽIVANJE RUDIŠTA

U jednoj svojoj prijašnoj publikaciji (9) upozorio sam na izvještaj paralelitet, koji postoji između starosti rasjelina i pukotina i sadržaja na nekim teškim metalima u mineralnim vodama, čija je pojava vezana na te pukotine i rasjeline. Broj mineralnih voda, u kojima je određen sadržaj na teškim metalima, relativno je malen, one su razbacane na velikoj površini, a i tektonski odnosi njihovog izvorišta često su nejasni, ili se o njima mišljenja geologa razilaze. Zbog toga se ukazala potreba, da se prouče ograničena područja, koja su geološki dobro obrađena i gdje su teški metali određeni u većem broju mineralnih voda. Odabrana su dva takova područja. Jedno je Pohorsko područje, a drugo je velika potolina, koja siječe zapadnu Evropu od Norveške do Sredozemnog mora (10). Ta je potolina sastavljena od više elemenata, od kojih je svaki idući od sjevera prema jugu pomaknut nešto prema zapadu. Istodobno se mijenja i karakter zone. U Skandinaviji južno od jezera Mjösen to je čista potolina, a to isto vrijedi dalje prema jugu za dolinu gornje Rajne, te za dolinu Saône i Rhône. U Hessenu naprotiv, sjeverno od doline gornje Rajne, zona je sastavljena od serije rasjelina u smjeru N-S, ali i od velikog broja rasjelina, koje su na njih okomite. Suprotno prilikama u dolini gornje Rajne, gdje nalazimo vertikalne pomake od nekoliko hiljada metara, u srednjoj su Njemačkoj ti pomaci neznatni. Dalje prema sjeveru u sjevero-njemačkoj nizini, te u Danskoj, rasjeline su prekrivene terciarnim i kvartarnim sedimentima, ali je njihovo postojanje u dubini dokazano geofizičkim mjerenjima (određivanjem intenziteta gravitacije).

Sjeverni je dio zone najstariji. U području jezera Mjösen rasjeline nastale su već u permu, ali su reaktivirane u ranom tercijaru. Što idemo dalje prema jugu, rasjeline postaju sve mlađe. U Hessenu su nastale u gornjoj juri ili donjoj kredi, dok je dolina gornje Rajne nastala u kredi ili ranom tercijaru, a dolina Rhône poglavito u oligocenu. Promotrimo li sad sadržaj na teškim metalima u mnogobrojnim mineralnim vodama, koje su na te rasjeline vezane, to opažamo pravilnost, koja je potpuno u skladu sa postavljenom hipotezom. U svim tim vodama preteže cinak, ali se u mineralnim vodama Skandinavije (Strömstad, i Ronneby) javlja i nikal, a u vodama sjeverne

Njemačke (Melle, Pyrmont, Alexisbad, Volkmarzen) bakar, koji pokazuju na stariju metalizaciju, dok se u mineralnim vodama Francuske (Niederbronn, Vichy, Urriage) javlja olovo, što opet upućuje na mlađu mineralizaciju.

Kako je hidrotermalna djelatnost usko povezana sa nastankom rudišta, postavlja se pitanje, da li se slična pravilnost može utvrditi i između rudišta magmatskog ili hidrotermalnog podrijetla s jedne strane, te geološke starosti rasjelina, na koje su ta rudišta vezana s druge strane. Tome je dosta tako, premda ta pravilnost nije tako očita, kako je to bila kod mineralnih voda. Razlog tome leži u činjenici, što metalizacija mineralnih voda predstavlja ekstrakt sa jednog većeg područja, dok su rudišta individualne tvorbe često podvrgnute sekundarnim promjenama.

Da bi se proučilo to pitanje, upotrebljena je statistička metoda. Uzeta je srednja vrijednost za postotke cjelokupne svjetske proizvodnje dotičnih metala za g. 1913. (23) i za g. 1938 (22), koji otpadaju na nalazišta nastala u pojedinim geološkim periodama. Izračunate vrijednosti prikazane su u Tabeli I.

Tabela I

Metal	geološka starost nalazišta							ne-određeno
	arhajik	paleozojski		mezozojski	tercijar		kvartar	
		stariji	mlađi		stariji	mlađi		
Ni	86	—	—	—	11	—	—	3
Cu	18.2	20.5	1.6	20.3	12.7	—	—	26.7
Sn	—	—	62.5	—	17.8	—	—	19.7
Zn	—	—	13.1	53.7	10.4	—	—	32.8
Pb	—	—	17.1	25.6	16.0	3.0	—	38.3
Hg	—	—	—	—	—	86.3	4.2	13.7

Iz tabele vidimo, da se vrlo dobro podudaraju postotci svjetske proizvodnje i geološka starost nalazišta kod niklja i žive. Dobro je i podudaranje kod kositra i cinka, dok se vrijednosti za bakar i olovo razilaze.

Teoretsko tumačenje opaženih pravilnosti valja tražiti u dva pravca. Karakter jednog rudišta uvjetovan je u prvom redu temperaturom, kod koje je rudište nastalo, a ta ovisi u glavnom od dubine. Stariji su pak tereni u pravilu jače erodirani, pa se na njima danas na površini javljaju rudišta, koja su nastala u većim dubinama i kod

više temperature (uran, nikalj, bakar, kositar), dok su mlađi tereni erodirani tek površno, pa se na njima javljaju samo rudišta nastala kod nižih temperatura i bliže površini (cinak, olovo, živa).

Još je važnije postepeno opadanje geotermijskog gradijenta tijekom geoloških perioda. Toplina u unutrašnjosti zemlje dobrim je dijelom posljedica radioaktivnog raspadanja. Ali ukupna količina radioaktivnih elemenata na zemlji baš radi tog raspadanja svakim je danom manja. Tako se sadržaj na uranu tokom geološkog vremena (t. j. u posljednje 2 milijarde godina) umanjio za 23%, na toriju za 7.5%, na aktiniju za više od 99%, a radioaktivni izotop kalija za 64%. Osim toga moramo pretpostaviti, da su na zemlji u prošlosti postojali u većim količinama i takvi radioaktivni elementi, koje danas nalazimo samo još u neznatnim tragovima, jer su se gotovo u cijelosti raspali. Zbog svega toga mora nužno geotermijski gradient da opada, pa su prije rudišta, koja se stvaraju kod viših temperatura, nastajala mnogo bliže površini, nego se to dešava danas.

Kako se poznata rudišta brzo iscrpljuju, postavlja se problem, da se otkriju nova, koja nisu obilježena izdancima i koja leže u većim dubinama. U tu svrhu upotrebljavaju se u sve većoj mjeri geofizička istraživanja, a u najnovije vrijeme opisan je niz geokemijskih, biokemijskih i geobotaničkih metoda. Ja sam 1948. godine XVIII. međunarodnom geološkom kongresu u Londonu predložio novu geokemijsku metodu za istraživanje rudišta, koja se osniva na gore iznesenim pravilnostima. (11).

Prije svega odredi se geološka starost jedne rasjeline na taj način, da se odredi starost eruptiva, koji je vezan na nju. U tu nam svrhu služe radioaktivne metode. Pri tom ja određujem starost u uzorku samog eruptiva, a ne u izoliranim radioaktivnim mineralima, kako se to obično čini. To ima svoje prednosti, ali i svoje mane. Prednost leži u tome, što određivanje starosti u samom eruptivu daje bolju srednju vrijednost, nego to mogu pružiti određivanja u pojedinim mineralima. S druge je pak strane određivanje relevantnih elemenata u onim minimalnim količinama, u kojima oni dolaze u kamenju, vezano na znatne eksperimentalne poteškoće. Da bi rezultati bili sigurniji, potrebno je geološku starost odrediti sa barem dvije nezavisne metode. Ja za određivanje geološke starosti kamenja upotrebljavam »olovnu« i »stroncijevu« metodu (13, 14).

Kod »olovne« metode potrebno je, da se u kamenu odredi sadržaj na uranu, toriju i olovu. Uran određujem radiometrijskom metodom mjereći jonizaciju uzrokovanu radonom, koji stoji u radioaktivnom ravnovjesju sa uranom. Torij određujem mikrokemijski, a olovo polarografski. Teški metali određuju se u kamenju obično spektrografski. Tom su metodom u posljednjim godinama švedski, finski i engleski geokemičari izveli niz određivanja teških metala u kamenju. Dok je međutim spektrografska metoda za određivanje alkalnih i zemno-alkalnih elemenata najosjetljivija metoda, kojom raspolazemo, dotle

je ona kod teških metala, čiji se spektri sastoje od velikog broja crta, manje osjetljiva. Dok sam na pr. stroncij spektrografski mogao da dokazem još u količinama od 0.00004%, kod olova je najmanja količina, koja se još mogla odrediti, bila 0.001%. Radi toga upotrebljavam za određivanje teških metala u kamenju polarografsku metodu (15).

Kod »stroncijeve« metode određuju se rubidij i stroncij spektrografski.

Kad je tako određena starost rasjelina, određuje se sadržaj mineralnih, a naročito termalnih voda dotičnog područja na teškim metalima. I tu se polarografska metoda pokazala naročito prikladnom.

Geokemijska metoda za istraživanje rudišta iskušana je praktički g. 1939—40. prigodom istraživanja rudišta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (11). Na sjevernom podnožju i padinama Ivančice javljaju se dvije paralelne rasjeline. Sjeverna rasjelina pruža se daleko prema zapadu, a obilježena je pojavama andezita (Jesenje, Kameni Vrh, Laz, gornja dolina Bistrice) i dacita (Jesenje, Vrh). Ova je rasjelina nastala u gornjoj juri ili donjoj kredi (18), ali je djelomice reaktivirana u miocenu. Duž te rasjeline javljaju se rudišta cinka (u glavnom smithsonit), naročito kod Ivanca, gdje se javljaju i tragovi olova. Sredinom prošlog stoljeća to se nalazište i eksploatiralo za dobivanje cinka, ali je rov već odavna napušten.

Južna rasjelina, koja teče sjevernom padinom Ivančice, starija je i obilježena izdancima melafira (Očura, Gečkovec, Topolje, gornja dolina Zeljeznice). Ova je rasjelina nastala u paleozoju i to vjerojatno prije karbona (20).

Mineralne vode, koje su u vezi s tim rasjelinama, u koliko im je istražen sadržaj na teškim metalima (Dobrna, Gabernik, Kostrivnica) sadrže cinak kao glavnu sastojinu, a zatim olovo, te konačno bakar. Rudišta bakra nisu u ovim krajevima nigdje dosada bila poznata. Ipak bi iz geološke starosti južne rasjeline, te iz sadržaja na bakru u mineralnim vodama, takova rudišta morali očekivati. Poduzeta su zbog toga istraživanja duž južne rasjeline. Konačno su kod Očure nađeni limoniti, koji su sadržavali 0.20—1.12% bakra. Zbog rata obustavljen je dalji rad, koji nije ni kasnije nastavljen.

Drugi je pokus učinjen u sjeverozapadnoj Srbiji (12). Određivanja teških metala u mineralnim vodama Srijema, sjeverozapadne Srbije i centralne Bosne pokazala su, da u njima prevladuje kositar. Tako voda u Vrdniku sadrži 0.0240 mg, iz Bukovičke Banje 0.0264 mg, a iz Ilidže kod Sarajeva 0.0170 mg u kg, što sve upućuje na variscičku metalizaciju, a kako se vidi iz Tabele I; karbonski tereni daju 62.5% od ukupne svjetske produkcije kositra. Postavio se dakle zadatak, da se ispita mogućnost nalaza kositrenih rudišta u toj oblasti. Kako su rudišta kositra uglavnom vezana za granite, dolazila bi na prvom mjestu u obzir okolina Bukovičke Banje, gdje se u neposrednoj blizini diže Bukulja, koja je dobrim dijelom izgrađena iz granita. Geološku starost tih granita odredio sam radioaktivnim metodama i našao, da

odgovara karbonu (13, 14). Time je u principu utvrđena mogućnost pojave kositra u granitu sa Bukulje, a eventualno i mogućnost postojanja njegovih rudišta. Zbog toga određen je sadržaj na kositru u granitu i granulitu sa Bukulje, a za usporedbu određen je kositar i u nekim drugim uzorcima kristaliničnog kamenja. Dobivene vrijednosti prikazuje Tabela II.

Tabela II

	Količina kositra u ‰
A. Crveni krupnozrni magnetitni gnajs, Forshem, Västergötland, Švedska	0.0010
B. Crveni sitnozrni magnetitni gnajs, Forshem, Västergötland, Švedska	0.0041
C. Sivi magnetitni gnajs, Forshem, Västergötland, Švedska	0.0028
D. Zeleni škriljavac, Medvednica, Zapadni dio	0.0041
E. Zeleni škriljavac, Medvednica, Istočni dio	0.0016
F. Granit, Bukulja kod Arandelovca	0.0069
G. Granulit, Bukulja kod Arandelovca	0.0056

Količina kositra u granitu sa Bukulje gotovo je dvostruko veća od one u kristaliničnom kamenju sa drugih nalazišta i približava se kositru onih granita, koji prate nalazišta kositra (0.025—0.090%). Prema tome postoji mogućnost, da bi se na Bukulji mogla naći rudišta kositra. Za vrijeme posljednjeg rata Talijani su iskorišćavali kositrene rude sa 0.4—0.9% kositra. Postupak je doduše skup i normalno ne bi mogao da izdrži konkurenciju sa kovinom sa drugih bogatijih nalazišta, ali ipak pruža mogućnost, da bi se na taj način manje količine kositra u slučaju potrebe mogle dobiti u zemlji.

Nakon što je g. 1948. metoda objavljena na XVIII. internacionalnom geološkom kongresu u Londonu, izvršeni su s njom pokusi i u inozemstvu.

Odjel za rudarsku geologiju Imperial College-a of Science and Technology u Londonu počeo je sa proučavanjem mogućnosti primjene geokemijske metode za istraživanje rudišta u izvjesnim dijelovima Afrike, za koje se držalo, da su za primjenu te metode naročito prikladni. Radovi su poduzeti u području rijeke Akpara u jugoistočnoj Nigeriji. U vezi sa andezitskim erupcijama nastalim u kredi javljaju se tamo mjestimice rudišta cinka i olova u nekim rasjelinama. Druge su rasjeline međutim jalove. Kako je kamenje rastrošeno i do znatne

dubine lateritizirano, nalaze se izdanci kamenja samo sporadično duž puteva i riječnih korita. Zbog toga je istraživanje rudišta geološkim metodama vrlo otežcano, te je u tom slučaju geokemijska metoda pružala znatne prednosti (21).

Pošto polarografska metoda teških metala u vodama iziskuje dobro uređen laboratorij i iskusne analitičare, to je za radove na terenu odabrana mnogo manje točna, ali brža i jednostavnija kolorimetrijska metoda pomoću ditizona (difeniltiokarbazona). Za sada je ta metoda izrađena samo za dokazivanje bakra, cinka i olova, ali će se kasnije možda moći protegnuti na druge teške metale (7).

Za određivanje teških metala upotrebljava se 0.0016%-na otopina ditizona u ugljikovom tetrahloridu, koju treba svaki dan svježe prirediti, jer se brzo kvari. 5 ccm od te otopine doda se uzorku vode, koju ispituujemo (50 ccm) i koja mora da reaguje kiselo ili neutralno ( $\text{pH} = 5.0-7.5$ ), što se postizava dodatkom mješavine od 9 dijelova dvostruko normalne otopine natrijeva acetata i jednog dijela dvostruko normalne octene kiseline ( $\text{pH} = 5.5$ ). Uzorak se zatim snažno mućka u lijevku za rastavljanje jednu minutu. Nakon što se sloj ugljikovog tetrahlorida odijelio od vode, otpusti se u epruvetu, pa se iz inteziteta obojenja zaključuje na količinu teških metala u vodi. Boja reagensa je zelena i prelazi u prisuću teških metala u crvenu. Ditizon sa teškim metalima stvara ditizonate, koji su u vodi netopivi, ali su topivi u ugljikovom tetrahloridu i prelaze u nj. Ako je taj sloj i nakon mućkanja zelen, može se reakcija učiniti osjetljivijom dodatkom od nekoliko kapi amonijaka, da bude  $\text{pH} = 9.0$ . Zelena boja ditizonreagensa prelazi u vodeni sloj, dok sloj ugljikovog tetrahlorida pokazuje slabu ružičastu boju. Boja dobivena sa uzorcima vode uspoređena je sa bojom standarda. Pošto i cinak i bakar i olovo daju veoma sličnu boju, određivan je njihov sadržaj u vodama zajednički i izražavan kao cinak. Svaki je uzorak ispitivan dva puta. Za deset određivanja zajedno sa kontrolama utrošeno je  $2\frac{1}{4}$  sati radnog vremena.

Postignuti rezultati pokazuju, da je sadržaj na teškim metalima u rijeci Akpara, koji je kod mjesta Ameka uzvodno od rudišta iznašao 0.06 mg na litru, porastao nizvodno od rudišta na 0.6 mg na litru. Slični, ali manje jednoznačni rezultati, postignuti su i kod mjesta Ameri. Tu je voda sadržavala znatne količine koloida, koji su kod reakcije smetali.

Geološka služba u Sjedinjenim Državama (U. S. Geol. Survey) osnovala je posebnu sekciju za geokemijska istraživanja rudišta, kojoj je na čelu H. E. HAWKES, koji je na Američkom rudarskom kongresu u Salt Lake City g. 1950. izvijestio o postignutim rezultatima u Sjedinjenim Državama. Istraživanje na teške metale prošireno je na kamenje, tlo, aluvijalne naplavine i vegetaciju. Uspoređivanje spektrografskih i kolorimetrijskih metoda pokazalo je, da su potonje u pravilu osjetljivije, kako to prikazuje Tabela III, pa se zato kolori-

metrijske metode pretežito i upotrebljavaju tim više, što se mogu izvesti na samom terenu.

Tabela III

	Prosječni sadržaj u kristaliničnom kamenju u ‰	Osjetljivost	
		spektrografski ‰	kolorimetrijski ‰
Cinak	0.0132	0.01	0.001
Bakar	0.0132	0.005	0.001
Nikalj	0.0132	0.0001	0.001
Kobalt	0.0132	0.001	0.001
Molibden	0.00025	0.001	0.0001

Geološka služba vrši geokemijska istraživanja na terenu sa ekipom od 15 ljudi, koja kod istraživanja nekog rudišta izvodi najmanje 500 određivanja, a kod prostranih rudišta kadšto i do 12.000 (4).

U Južnoj Australiji ispitivao je V. P. SOKOLOFF (19) sadržaj tla na bakru i srebru pomoću ditizon-metode. Uzorci vađeni su na terenu duž paralelnih pravaca, a analizom utvrđeni su na dva mjesta maksimumi u sadržaju bakra i srebra, što bi upućivalo na prikrivene izdanke.

Ditizon-metodom za određivanje cinka u tlu služi se i R. B. FULTON (1). Izvršeno je 1500 određivanja dijelom na zemljištima, koja pokrivaju poznate naslage cinka, a dijelom na neproduktivnim terenima. Uvijek su analize tla, koje leži nad rudištem cinka, pokazivale znatno veće količine cinka.

YUJI YOKOYAMA (24) određivao je mangan u mineralnim vodama, podzemnoj vodi i riječnoj vodi u području grada Awano u Japanu, gdje se nalaze rudišta mangana i našao izvjesnu korelaciju između manganovih rudišta i sadržaja vode na manganu. On drži, da bi geokemijska metoda mogla da posluži za istraživanje rudišta.

Sva opisana istraživanja ticala su se tla i površinskih voda, pa omogućavaju samo otkrivanje onih rudišta, koja se nalaze neposredno ispod površine. Trebalo je dakle izvršiti pokuse, da se geokemijska metoda primijeni i na otkrivanje rudišta, koja se nalaze u većoj dubini. U tu je svrhu odabrano Skellefte-područje u sjevernoj švedskoj.

To područje tvori sjeverni dio pokrajine Vesterbotten, zauzima površinu od 40.000 km<sup>2</sup>, a sastoji se prema mišljenju švedskih geologa uz izuzetak nekih diabaza isključivo iz arhajskih slojeva (6). U te su slojeve prodrli tokom arhajika graniti. Švedski geolozi razlikuju tri

granitne intruzije i stavljaju prve dvije u stariji arhajik, a posljednju u mlađi, ali se u posljednje vrijeme javljaju sumnje o njihovom vremenskom redoslijedu i starosti: 1) *Jörn granit*, koji pokriva sjeverni dio područja; 2) *Revsund granit*, koji pokriva jednu trećinu čitavog područja, a javlja se u njegovom jugozapadnom dijelu. Jedna svijetlija sitnozrna podvrsta nazivlje se *Skellerte-granitom* i 3) *Sorsele granit*, koji se javlja na sjevero-zapadu, ali pokriva i izolirane predjele centralnog dijela. S obzirom na metalizaciju rudnih nalazišta Skellefte-područja nije međutim isključeno, da je bar jedan od tih granita mlađi i da pada u stariji paleozoik.

Najvažniji rudnik Skellefte-područja je Boliden (16). Nalazi eratičnog kamenja sa piritnom rudačom u Skellefte-području upućivali su na postojanje rudišta. Nakon opsežnih geofizikalnih ispitivanja pomoću električne metode (5), koja su vršena u godinama 1921.—1924., ali koja su mogla upozoriti samo na diskontinuitete u podzemlju, nađena je u prosincu 1924. kod Bolidena bušenjem piritna rudača u dubini od 19 metara. Slijedeće godine počela je rudarska eksploatacija. U rudniku zastupane su sve metalogenetske periode počev od urana, koji se javlja u najdubljim horizontima i koji je otkriven tek u najnovije vrijeme pa do žive (2), koja se naročito javlja u najmlađim ležištima.

U rudniku se ističu tri glavne metalizacije, koje vremenski slijede jedna iza druge: 1) arsenopiritna rudača sa halkopiritom ( $\text{CuFeS}_2$ ) i manjim količinama nikolita ( $\text{NiAs}$ ), kobaltita ( $\text{CoAsS}$ ), sfalerita ( $\text{ZnS}$ ), galenita ( $\text{PbS}$ ) i bizmutovih ruda. 2) lamprofiri sa kremenom i turmalinom i sa sulfidnom rudačom. Ovo se ležište sastoji pretežito iz pirotita ( $\text{FeS}$ ), halkopirita i galenita (često u Krasnim kristalima) i nešto sfalerita. Tipični su za to ležište bizmutovi teluridi: tetradimit ( $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ) i telurobizmutit ( $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ), te selenokosalit ( $\text{Pb}_2\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_2$ ). 3) piritna rudača sa pretežnim piritom i pirotitom, te sa nešto stanita ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ) i galenita. Zlato dolazi u sva tri ležišta, naročito u drugom u obliku žica i uprskano u rudači, pa sam ga u rovu na stijenama lijepo mogao pratiti. Jedan uzorak rudače sa drugog ležišta sadržavao je u jednoj toni 490 grama zlata i 3980 grama srebra. Prosječni sadržaj rudače na zlatu je 24 grama zlata na tonu. Do g. 1937. iz rudnika je izvađeno 2 milijuna tona rudače, koja je dala 34.680 kg zlata, 87.856 kg srebra, 27.727 tona bakra i 235.000 tona arsenovog trioksida ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ).

U drugim rudnicima Skellefte-područja zastupana je obično samo jedna metalogenetska perioda, od kojih je najstarija ona, koja se javlja u pegmatitima Varuträska 25 km SE od Bolidena (17). Taj je pegmatit otkriven slučajno g. 1933., a stoji u vezi sa Revsund granitom. I u mineralizaciji tog pegmatita javljaju se tri faze. U prvoj, koja je nastala kod temperatura viših od  $500^\circ\text{C}$ , a sadrži u glavnom mikroklinpertit ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) sa znatnim sadržajem na rubidiju, često u lecima preko 3 metra dugačkim, kremen, tinjac i nešto berila, a u



centralnim dijelovima litijeve minerale: spodumen ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) i ambligonit ( $\text{Li}(\text{AlF})\text{PO}_4$ ) u lecima katkad pola metra debelim. Druga faza nastala je kod temperatura između  $400^\circ$  i  $500^\circ\text{C}$  i obuhvaća ekonomski najinteresantnija ležišta. Najprije je došlo do izlučivanja litijevog minerala petalita ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ). Od tog vrlo rijetkog minerala izvađeno je do sada preko 1000 tona. Dalje dolaze lepidolit ( $\text{F}_2(\text{KLi})_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), spodumen i ambligonit. Neobično je interesantna pojava velikih količina izvanredno rijetkog cezijeveg minerala polucita ( $\text{H}_2\text{Cs}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{27}$ ) sa 42.53%  $\text{Cs}_2\text{O}$ , koji se izlučio nešto kasnije. Kristali, 2—3 cm veliki, tog minerala plaćali su se prije rata sa 200 maraka. U pegmatitima Varuträska dolazi on u tonskim količinama. Međutim tehnika za cezij još nije našla praktične upotrebe. Od drugih minerala dolaze u toj zoni mangan-apatit, kasiterit ( $\text{SnO}_2$ ) i uranov smolinac ( $\text{UO}_2$ ), ( $\text{UPb}_2$ ). Treća faza obuhvaća hipogene i supragene promjene nastale kod znatno nižih temperatura. W. WAHL odredio je starost tog pegmatita iz omjera olovnih izotopa u uranovom smolincu i našao vrijednost  $1700 \times 10^6$  godina, a S. EKLUND odredio je starost pegmatita po »stroncijevoj« metodi i našao  $1740 \times 10^6$  godina. Nalazište spada dakle u najstariji arhajik.

Mlađa arhajska metalizacija (nikalj, kobalt) zastupana je samo s rudnikom Lainejaur (3), gdje se mogu razlikovati dvije faze. Nakon što se izlučila kompaktna rudača nikalj-pirotita, došlo je do izlučivanja kompleksne arseno-nikaljne rudače, koja mjestimice u obliku apofiza prodire u pirotit.

U Skellefte-području javljaju se na mnogo mjesta rasjeline nastale za vrijeme kaledonskih orogenih pokreta, pa stoga nije čudo, da su u tom području rudnici sa bakrenom rudačom naročito brojni. Ističu se nalazišta i rudnici: Istočni Bjurfors (6). Rudača sadrži prosječno 2.4% bakra. Adak (6, 3), gdje sadržaj na bakru prelazi kadšto 16%. Åkulla (6,3), Åsen (6,3), Holmtjärn (6), koji je znamenit radi svog izvanrednog bogatstva na zlatu i srebru. Sadržaj na tim metalima doseže mjestimice 1165 grama zlata i 5542 grama srebra na tonu. Dalje spadaju ovamo Mensträsk (6,3), Kedträsk (3) i Rakkejaur (6,3), najveće dosad pronađeno nalazište. Izdan kompaktne rudače pokriva 19000 m<sup>2</sup>. Sadrži uglavnom pirit, halkopirit i bakronosni arsenopirit. Potonji sadržaje 20 grama zlata na tonu. Osim toga dolaze Kristineberg (6,3) i Laver (6,3).

Od kasnijih metalogenetskih perioda naročito se ističe starija alpinska metalizacija (cinak), a u manjoj mjeri mlađa alpinska metalizacija (olovo). Ovamo spadaju nalazišta i rudnici: Bjuträsk (6), Bjurliden (6), Srednji Bjurfors (6) sa bogatom cinkovom rudačom (30—40% Zn), Ö. Högkulla (6) sa rudačom, koja sadrži 26.8% cinka, 1.7% olova i 239 grama srebra na tonu, Vindelgransele (6) sa rudačom, koja sadrži 30—40% srebronosnog cinka, Råyliden (6,3), Långsele (6,3), Renström (6,3) i Långdal (3).

Kako su pojedina rudišta Skellefte-područja očito vezana na granitne intruzije, bilo je jasno, da bi poznavanje starosti tih intruzija bilo od velike važnosti za prosuđivanje, kakova se rudišta u blizini pojedinih intruzija mogu očekivati. Zato je zaključeno, da se u prvom redu odredi starost pojedinih granita radioaktivnim metodama, kako sam ih predložio.

LITERATURA:

1. FULTON, R. B.: Prospecting for zinc using semiquantitative chemical analyses of soil. *Econ. Geol.*, 45, 654 — 70 (1950).
2. GRIP, ERLAND: On the occurrence of mercury in Boliden and in some other sulphide deposits in Northern Sweden. *Sveriges geol. unders. Ser. C. No. 499*, Stockholm 1948.
3. GRIP, ERLAND: Tungsten and molybdenum in sulphide ores in Northern Sweden. *Geol. Fören. Förhandl.*, 73 (1951).
4. HALLETT, L. T.: The analyst's column. *Analytical Chemistry*, 23, 14A—15A (1951).
5. HEDSTRÖM, H. i NORDSTRÖM, A.: Malmletningsteknikens nuvarande standpunkt. *Meddelanden från Jernkontorets gruvbyrå*, XXX, Uppsala 1943.
6. HÖGBOM, A.: Skelleftefältet med angränsande delar av Västerbottens och Norrbottens län. En översikt av berggrund och malmförekomster. *Sveriges geol. unders. Ser. C. No. 389*, Stockholm 1937.
7. HUFF, L. C.: A sensitive field test for heavy metals in water. *Econ. Geol.*, 43, 675 — 684 (1948).
8. MIHOLIĆ, S.: Kemijska analiza termalnog wrela u Štubičkim Toplicama. *Rad Hrvatske akad.*, 278, 195 — 211 (1945).
9. MIHOLIĆ, S.: Mineralne vode Pohorskog područja. *Geološki vjesnik* 1, 111—124 (1947).
10. MIHOLIĆ, S.: Ore deposits and geologic age. *Econ. Geol.*, 42, 713 — 720 (1947).
11. MIHOLIĆ, S.: A geochemical method of prospecting for ore deposits. Report of the Eighteenth Session, International Geological Congress, Great Britain, 1948, Part-II, Str. 86 — 87.
12. MIHOLIĆ, S.: Kesitar u nekim uzorcima kristaliničnog kamenja. *Glasnik hemiskog društva Beograd*, 14, 121 — 127 (1949).
13. MIHOLIĆ, S.: Određivanje geološke starosti kamenja radioaktivnim metodama. *Rad Jugosl. akad. (u štampi)*.
14. MIHOLIĆ, S.: Determination of the age of igneous rocks. *J. Chem. Soc.*, 1950, 3402 — 3405.
15. MIHOLIĆ, S.: Beitrag zur Bestimmung von Spurenelementen in Gesteinen. *Mikrochemie* 36/37, 386 — 389 (1950).
16. UDMAN, OLOV H.: Geology and ores of the Boliden deposit, Sweden. *Sveriges geol. unders. Ser. C. No. 432*, Stockholm 1941.
17. QUENSEL, PERCY: The paragenesis of the Varuträsk pegmatite. Preliminary report (rukopis).
18. POLJAK, J.: Prilog poznavanju Kalničke gore. *Vjesnik Hrvatskog drž. geol. zavoda*, 1, 53 — 92 (1942).
19. SOKOLOFF, V. P.: Geochemical reconnaissance in the Wallaroo mining district, South Australia. *S. Australia Dept. Mining. Mines Rev.*, 88, 32 — 64 (1949) cit. po: *Chem. Abstracts*, 44, 8831 (1950).

20. TUČAN, F.: Starije eruptivno kamenje u sjevero-zapadnom dijelu Hrvatske. Glasnik hrvatskog prirodoslovnog društva, 34, 169 — 184 (1922).
21. WEBB, J. S. i MILLMAN, A. P.: Heavy metals in natural waters as a guide to ore. A preliminary investigation in West Africa. Bull. Inst. Mining Met., 518, 3 — 44 (1950).
22. WILLIAMS, DAVID: Mineral resources of the world. The Advancement of Science, 3, 206 (1945).
23. World Atlas of Commercial Geology. Part I. U. S. Geol. Survey, Washington 1921.
24. YOKOYAMA, YUJI: Chemical prospecting of the manganese deposit. J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect., 70, 402 — 3 (1949) cit. po; Chem. Abstracts, 45, 3102 (1951).

## A B S T R A C T

### A GEOCHEMICAL METHOD FOR PROSPECTING FOR ORES

by

*Stanko Miholić*

In a previous paper (9) the author has pointed out that there is a certain parallelism between the geologic age of the joints and faults in a district and the content of heavy metals in mineral waters connected with them. The number of mineral waters, however, where determinations of their content in heavy metals were made, is still rather small, their sources widely scattered, and also the tectonic conditions of their surroundings often still controversial. The above mentioned parallelism could, therefore, be considered as merely accidental. A detailed survey of the Pohorje region, whose geology has been studied in detail, was made and the content in heavy metals determined in a number of mineral waters. A complete agreement with the hypothesis was found.

As hydrothermal activity is so closely connected with the formation of ore deposits, the question arises; can a similar connection be established between the ore deposits of magmatic or hydrothermal origin and the age of the joints and faults in which they have been formed? A statistical reconnaissance showed that this is in fact the case, although the regularities are not so clear as with mineral waters.

In order to determine the age of a system of joints and faults, the author determines the age of igneous rocks connected with them by two radioactive methods, the »lead« and the »strontium« method (14). Contrary to the current practice where generally radioactive average of the rock itself. This method has its advantages and drawbacks. The advantage is that the determined age shows a better average, while the drawbacks lie in the fact, that the elements relevant to the determination of age by radioactive methods as a rule occur in rocks only in very minute quantities and their analytical determination offers therefore considerable technical difficulties.

When thus the age of a system of joints and faults is established, then the content in heavy metals in mineral (and especially thermal) waters of the respective region is determined. This principle was applied by the author while prospecting for copper in NW Croatia (11) and for tin in NW Serbia (12).

In the last few years some prospecting by geochemical methods has been done in various parts of the world, mainly using the dithizon-method for the colorimetric determination of heavy metals in river waters and in the soil (1, 7, 19, 21, 24). By such a procedure, however, only deposits that are very near the surface can be located.

I was, therefore, very glad when the Boliden Mining Company invited me for a visit in Boliden and a talk with their experts on the determination of geologic age by radioactive methods. The ore deposits of the Skellefte-district where Boliden is situated are closely connected with three granite intrusions (Jörn, Revsund and Soresele granits) and the exact determination of their age would be a great help in further prospecting. Those investigations are now in progress.