

GEOLOGIJA 24/1, 7—23 (1981), Ljubljana

UDK 553.495:550.4(497.12)=863

Raziskave na Žirovskem vrhu po modelu geokemične celice

Exploration at Žirovski vrh uranium deposit on principle of the geochemical cell

Tomaž Budkovič

Geološki zavod, 61000 Ljubljana, Parmova 33

Kratka vsebina

Zadnji dve leti so raziskave na Žirovskem vrhu zajele južni podaljšek uranovega rudišča. Površinske vrtine, locirane po modelu geokemične celice, so potrdile zanesljivost spremenjenega sistema geoloških raziskav, ki temelji na interpretaciji, da je uranova ruda v reduciranem — sivem grōdenskem peščenjaku genetsko odvisna od sosednjih con oksidiranege rjavkasto sivega peščenjaka iste stratigrafske enote. Geološka napoved je bila kontrolirana s sedmimi vrtinami; pet jih je zadelo na rudna telesa, dve pa njihovo obrobje. S tem se je dolžina rudišča, znanega že prej, povečala za dva tisoč metrov, rudne zaloge pa za 50 odstotkov.

Abstract

In the last two years explorations have been done to prove the southern extension of the uranium ore deposit at Žirovski vrh. Drilling works were planned on the recognition that the origin of ores occurring in reduced Val Gardena sandstone, which is gray in colour, depends on the adjacent oxidized zones of brownish gray sandstone belonging to the same stratigraphic unit. Geologic prospection based on principle of the geochemical cell was checked by seven boreholes from the surface. Five of them cut the ore bodies as it was indicated and two other holes penetrated their marginal parts. There the extent of the ore deposit increased by two thousand metres and its tonnage for fifty percent. Thus the new exploration concept appears to be fairly useful in the future.

Uvod

Uranova rudišča v peščenjaku so najpomembnejši svetovni vir urana. Že med drugo svetovno vojno so jim posvečali veliko pozornost posebno v Ameriki. Objavili so veliko del o značilnih lastnostih rude ter o njenem nastanku in načinu pojavljanja.

Po obliki in zvezi s peščeno prikamenino so razlikovali penekonkordantna in diskordantna rudna telesa. Med diskordantna so šteli rudna telesa s prečnim presekom v obliki črk s in c, ki so jih imenovali rudni »roll« ali kratko »roll« (D. R. Shawe & H. C. Granger, 1965, s. 241). Ta delitev se je ohranila sicer do današnjih dni, vendar je začelo prevladovati mišljenje, da obstaja v bistvu samo en tip rudišč, ki ga je R. I. Rackley (1976) imenoval »western states type«, torej tip rudišč, kakršna so razširjena v kontinentalnem peščenjaku zahodnih Združenih držav Amerike. Sem štejejo tudi rudišča tipa »red beds«, tj. rdečih plasti. Rudišče Žirovski vrh je podobno uranovim rudiščem v zahodnih Združenih državah Amerike.

Po nastanku so si uranova rudišča podobna ne glede na geološko območje, kjer ležijo. Razlike v velikosti, razporeditvi in obliki rudnih teles so nastale zaradi razlik v litološki sestavi in razporeditvi redukcijskih centrov v rudonosni formaciji. V enakomerno razvitem peščenjaku večjih debelin in z vmesnimi plastmi muljevca so nastala večja rudna telesa kot v neenakomerno razvitem konglomeratu.

Razvojne stopnje raziskovalnega sistema na Žirovskem vrhu

Sistem raziskovanja na Žirovskem vrhu se je spreminjal, kot so se menjavali usmerjevalci raziskovalnih del in kot je napredovala interpretacija zgradbe rudišča in njegovega nastanka. V letih 1960 do 1970 je vodil raziskovanje beograjski inštitut za geološko-rudarska raziskovanja jedrskih in drugih mineralnih surovin. Uporabil je metode površinskih razkopov, krajših raziskovalnih rogov in plitvega vrtanja v glavnem na območju tako imenovane »Šimcove anomalije«. K sodelovanju je povabil skupino treh izvedencev v sestavi I. N. Zubrev, I. A. Panov, in A. S. Veršin. Njihov načrt raziskovalnega sistema na Žirovskem vrhu je obsegal jamska dela in vrtanje s površja. Od jamskih del so predlagali prečnike na medsebojni razdalji 50 m, za vrtanja pa mrežo 800×200 m in 400×100 m. Vrtine so locirali po vzdolžnem preseku »O« in po prečnih presekih. Mrežo površinskih vrtin, označenih z »B« so geologi modificirali na 400×400 m in jo zgostili na 140×140 m na območjih pozitivnih vrtin. Za omejitev orudenega prostora med obzorjem 580 m in površjem so izvrtali s površja dodatne vrtine v mreži 50×50 m in jih označili z »b«.

Osnovni presek »O« je bil dobro postavljen. Z vrtinami vzdolž njega so natipali rudišče v dolžini 2400 m. V prvi fazi, ki je trajala od leta 1961 do 1966, so izvrtali s površja vrtine B-1 do B-44 s skupno globino 16 800 m. V letih 1966 do 1973 so koncentrirali raziskave na jamo v poldetajlnem obsegu.

V tem času je še prevladovalo med raziskovalci mišljenje, da je ekonomsko pomembna ruda omejena na prostor med vrtinama B-9 in B-16 (V. Omaljev, 1973, 17). Vzrok za takšno gledanje je bil v vrtanju južno od jame, ki ni dalo ugodnega rezultata. Osnovni presek »O« in »orudeni trak« se namreč sekata pod kotom približno 15° ; zato so vrtine jugovzhodno od vrtine B-9 zgrešile nadaljevanje rudišča.

V letih 1973/74 so raziskovalci Geološkega zavoda nadaljevali vrtanje s površja, in sicer okrog kmetij Karlovec in Jermanc severozahodno od jamskih del.

Z mrežo vrtin 200×200 do 50×50 metrov s skupno globino 3000 m so podaljšali rudišče za 300 m.

Šele leta 1976 so se preusmerili na južni podaljšek rudišča. V letih 1976 do 1979 so vrtali v mreži 140×140 m, v letih 1979 do 1981 pa so mrežo vrtanja prilagodili genetskemu principu tako imenovane geokemične celice. To je dinamični sistem, v katerem napreduje val oksidacijske podtalnice in doseže redukcijsko okolje ter se izoblikuje v kontinuirano, omejeno telo, kjer se spreminjajo Eh, pH, mineralna sestava in kemizem ter mikroorganizmi. Gre za komplicirane reakcije oksidacije in raztapljanja na eni strani ter redukcije in sedimentacije na drugi. Pri nastajanju sedimentnega uranovega rudišča imajo torej vlogo fizikalne in kemične reakcije, ki uravnavajo migracijo urana, njegovo oksidacijo, raztapljanje, prenašanje, redukcijo in sedimentacijo. Tesna zveza teh reakcij z organskim ogljikom pa kaže na vlogo bioloških procesov v njihovem mikrookolju. Razlika med prvotno reduciranim sedimentom in spremenjenim sedimentom znotraj geokemične celice so pomemben kazipot v raziskovanju orudenega čelnega roba geokemične celice. Geokemična celica v sedimentu meandrastega toka je podolgovata, jezičasto telo in zato je rudišče, nastalo v njej, trakasto (R. I. Rackley, 1976).

Temu spoznanju smo prilagodili koncept raziskovanja na Žirovskem vrhu in bistveno povečali učinkovitost površinskega vrtanja v letih 1979/81. Medsebojna razdalja vrtin vzdolž rudnih trakov je sedaj 400 m, prečno na trakove pa 200 m. V primerjavi z leti 1961 do 1966 je učinkovitost vrtanja sedaj večja dvakrat, v primerjavi z leti 1973/74 pa trikrat.

Vloga geokemične celice pri nastanku uranovih rudišč

Litostratigrafske značilnosti rudonosnih formacij. Sedimenti rudonosnih formacij so nastali v rečnem okolju. Večidel jih prištevamo k tako imenovanim rdečim plastem (red beds). Sestojijo iz konglomerata, peščenjaka in muljevca. Njihova rdeča barva izvira od železovega (III) oksida, ki obdaja posamezna zrna. Prostorsko razmerje med temi litološkimi členi v formaciji je odvisno od rečne struge, kjer so se ti sedimenti odlagali. V prepletajoči se reki prevladujeta konglomerat in peščenjak. Manj je leč in vmesnih plasti muljevca. Konglomerat in peščenjak predstavljata sediment rečnega korita, muljevec pa sediment slabo razvitega poplavnega območja. Povodnji so preplavile celotno rečno dolino; takrat so se odlagali drobnozrnati klastiti na poplavnem območju in debelozrnati v koritu. Pri normalnem in nizkem vodostaju se je voda umaknila v prepletajoče se kanale, ki so jih ločili otočki in sipine, porasli z rastlinstvom.

Meandrasta reka je naplavila drugačen tip rečnih sedimentov. Voda je tekla v enem kanalu, ki se je vijugal po poplavni ravnini. Ob glavnem rečnem koritu so ostali mrtvi rokavi, prejšnji meandri reke. V glavnem koritu prevladuje peščenjak, na dobro razvitem poplavnem območju pa muljevec. V mrtvih rokah se nahaja črni muljevec, bogat z organsko snovjo in podoben jezerskemu sedimentu. Peščenjak glavnega korita ne leži v muljevcu poplavnega območja v obliki plasti, ampak v obliki vijugastih trakastih teles.

Siva grōdenska formacija Žirovskega vrha je nastala večidel v sedimentacijskem okolju prepletajoče se reke. Njen manjši del je nastal v meandrasti

reki. Okolje njenega nastanka je obdelal D. Skaberne (neobjavljena poročila 1977/78) na podlagi več stratimetričnih profilov jamskih del in vrtin.

Debelina formacije znaša 0 do 405 metrov. Maksimalna debelina je bila izmerjena v rovu P-10. Od talninske karbonske formacije jo loči tektonsko-erozijska diskordanca. Vsi znaki kažejo, da gre za popolnjen paleorelief karbonske formacije. Relativne razlike višin v paleoreliefu so morale ponekod presegati 400 metrov; siva grōdenska formacija se namreč ponekod izklinja, tako da leži rdeča grōdenska formacija neposredno na karbonski.

V rovu P-10, kjer je najdebelejša, smo sivo grōdensko formacijo razčlenili na 10 litostratigrafskih horizontov. Pri določanju horizontov smo upoštevali barvo, zrnavost in prodniške združbe. Naša razčlenitev se ne ujema s Skabernetovo razčlenitvijo istega profila. Njegova je genetska, ker je profil nadrobneje obdelal in upošteval tudi primarne sedimentne teksture. Naša razčlenitev je pomembna pri vrednotenju rezultatov površinskega in jamskega poldetajlnega strukturnega vrtnanja, saj smo z njeno pomočjo natančno omejili rudonosno cono.

Zaporedje horizontov je naslednje (T. Budkovič, 1980):

- horizont sivega peščenjaka
- horizont rdečega muljevca z lečami rdečega in zelenega peščenjaka
- horizont sivega peščenjaka
- horizont zelenega peščenjaka in rdečega muljevca
- horizont sivega peščenjaka z medplastmi sivega konglomerata
- horizont sivega in pisanega konglomerata
- horizont sivega peščenjaka z lečami sivega konglomerata in sivega muljevca
- horizont pisanega konglomerata z apnenčevimi prodniki, rdečega in zelenega peščenjaka ter rdečega in zelenega muljevca
- horizont sivega kremenovega peščenjaka z lečami črnega muljevca
- bazalni konglomeratni horizont

Pri kartiranju prečnikov H-53 in H-54 sta M. Pečnik in D. Skaberne leta 1976 prva opazila primarne sedimentne teksture, značilne za prepletajočo se reko. Ugotovila sta, da sta se peščenjak in konglomerat odlagala v glavnem v rečnem koritu, rdeči muljavec na poplavnem območju, črni muljavec pa v mrtih rečnih rokavih.

M. Jelen je na podlagi palinoloških vzorcev določil srednjepermsko starost sive grōdenske formacije in ocenil podnebje v času njenega nastajanja.

Poleg palinoloških dokazov o podnebju imamo še mesnato rdeče apnenčeve gomolje, ki jih je veliko v vrhnjem delu rdečega muljevca. Večina avtorjev jih je označila kot horizont »caliche«, nastal zaradi odlaganja kalcijevih soli iz nasičenih talnih raztopin, ki so se dvigale proti površju in izparevale. Pojav je značilen za polpuščavsko podnebje. Horizont »caliche« kaže tudi, da je bil rdeči muljavec dolgo izpostavljen površinskim vplivom. Za njegovo tvorbo je bila potrebna doba 4000 do 10 000 let. V tej dolgi dobi se je železo oksidiralo in dalo muljvcu rdečo barvo.

Na sivi grōdenski formaciji leži rdeča grōdenska formacija. Prehod je konkordanten. Njen spodnji del sestoji v glavnem iz rdečega muljevca in vsebuje leče rdečkastega peščenjaka. Kakšnih 60 metrov nad stikom sive in rdeče grōdenske formacije se nahaja ponekod v lečah sivega peščenjaka bakrova ruda.

Siva grödenska formacija sestoji iz sivih, zelenih in rdečih sedimentnih kamenin. Siva sta konglomerat in peščenjak, in v manjši meri tudi muljevec. Opazovanja recentnih rečnih sedimentov nam kažejo, da se sediment, pomešan z organskim drobirjem, reducira že med sedimentacijo ali neposredno po njej, če pride takoj pod vodno gladino. Reducirali so se predvsem sedimenti rečnega korita, ki so vsebovali zadosti organskih ostankov in so bili večino časa pod vodo. Kjer je koncentracija organskih ostankov večja, je sediment temno siv in črn. Organski ostanki se pojavljajo v obliki rastlinskega drobirja, vej in debel. Zelena sta predvsem peščenjak in muljevec brez organskih ostankov. Zeleni sedimenti so bili prvotno rdeči ali rdečkasti ter dalj časa izpostavljeni oksidacijskemu okolju; zato je organska snov v njih razpadla. Ko jih je zalila redukcijska podtalnica, so se rdeče železove (III) spojine reducirale v zelene (II).

Rdeči sedimenti so ohranili rdečo barvo predvsem zaradi svoje neprepustnosti. Rdeča sta v glavnem muljevec in drobnozrnati peščenjak. Ta dva litološka člena sta bila odložena večinoma na poplavnem območju, kjer sta bila izpostavljena dolgotrajni oksidaciji. Ko sta v fazi dviganja podtalnice prišla pod njeno gladino, se je reduciral samo njun obrobni del, ki je mejil na prepustne sedimente, prepojene z redukcijsko podtalnico. Obrobni, reducirani del je debel nekaj decimetrov. V zelenih sedimentih so pogostni idiomorfni kristalčki pirita. Redukcijo obrobnege dela rdečega muljevca so včasih razlagali s prehodom uranonskih raztopin skozi sediment, tj. tako imenovano »razbarvanje«. Ta proces nima neposredne zveze z nastankom uranove rude.

Nastanek uranove rude v rudiščih »zahodnega« tipa na podlagi modela geokemične celice

R. I. Rackley (1976) je v svoji študiji navedel skupne lastnosti formacij, v katerih nastopajo uranova rudišča v zahodnem delu Združenih držav Amerike. V naslednjem pregledu bomo z znakom + označili tiste skupne lastnosti, ki jih ima tudi siva formacija na Žirovskem vrhu.

Skupne lastnosti rudonosnih formacij »zahodnega« tipa:

	Siva grödenska formacija na Žirov- skem vrhu
Strukturne značilnosti	
a) prikamenina je del debelega in zelo razširjenega kontinentalnega zaporedja, od katerega pripada večina tipu rdečih plasti	+
b) matična kamenina je arkozni, sljudni ali roženčev peščenjak	delno
c) vulkanski material se nahaja v matični kamenini ali pa kot njena krovina	+
č) matično kamenino so delno erodirali vzvratno napredujoči vodni tokovi	?
d) odlaganje mlajših sedimentov na rudonosno formacijo, ki se je na ta način ohranila	+

Sedimentacijsko okolje, sedimentne strukture in diageneza:

- | | |
|--|---|
| a) sedimentacija v okolju prepletajoče se ali meandraste reke na lokalni ali regionalni diskordanci | + |
| b) peščenjak in konglomerat tvorita lečasta telesa, relativno omejena | + |
| c) muljevec se lateralno menjava s peščenjakom in konglomeratom ter ima z njima erozijski stik | + |
| č) peščenjak in konglomerat vsebujeta navadno prodnike muljevca | + |
| d) svetlo sivi in zeleni do temno sivi peščenjak s sivim in zelenim muljcem — vsi ti litološki členi so običajno piritizirani; rdeči in rožnati muljevci prisotni, vendar v manjšem obsegu | + |
| e) kristali sadre v muljcu | ? |
| f) reptilska favna | ? |
| g) bioturbacije | + |
| h) ostanki debel, vej in korenin, rastlinski detritus, ostanki bakterij in asfaltni material | + |

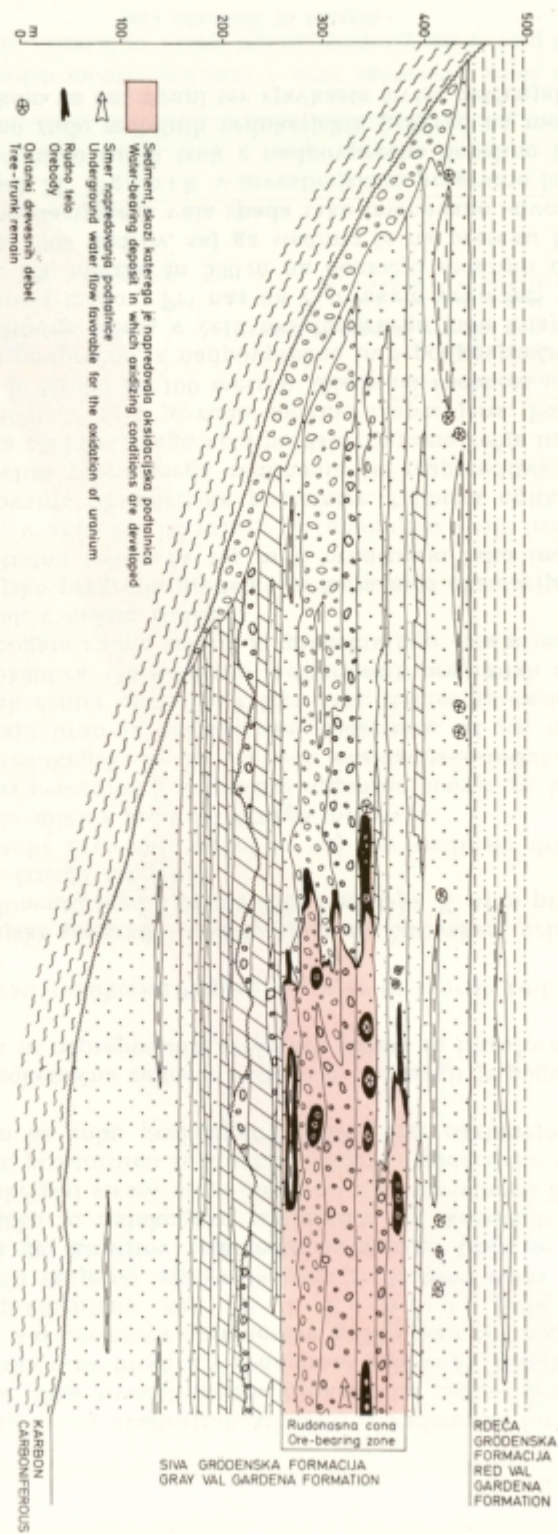
Nastanek rude in spremembe v prikamenini

- | | |
|--|---|
| a) uraninit in kofinit sta glavna minerala v neoksidiranem delu rudišča | + |
| b) ruda je konkordantna ali diskordantna glede na plastovitost | + |
| c) ruda se pojavlja na ostrem stiku med reduciranim in oksidiranim delom sedimenta (oksidirani del je brez organske snovi) | ? |
| č) epigenetski minerali so prostorsko porazdeljeni na določen način | ? |
| d) ruda je najpogostejša v debelem pasu peščenjaka, kjer muljevec tvori 20 do 50 % sedimentacijskega zaporedja | + |

Po odložitvi rudonosne formacije razlikujemo v njej tri geokemične tipe sedimenta. Prvi je sivi in temno sivi tip, reduciran že med sedimentacijo ali takoj po njej. Drugi tip je zelen, ker je bil dlje časa pod vplivom oksidacijskega okolja. Prvotno je bil rdečkast, ko pa ga je prepojila redukcijska podtalnica, je zaradi redukcije železa (III) postal zelen. Tretji, rdeči tip sedimenta predstavljajo večinoma neprepustni drobnozrnati klastiti, ki so rdeči zato, ker so bili zelo dolgo izpostavljeni oksidaciji. Zaradi njihove neprepustnosti je redukcijska podtalnica reducirala samo njihove robove, ker globlje ni mogla prodreti.

Rudonosna formacija je bila proti talnini omejena z erozijsko diskordanco, proti krovlini pa z debelo plastjo neprepustnega muljevca. Zato se je v njej izoblikoval izoliran sistem redukcijske podtalnice. Podobni pogoji so vladali tudi na Žirovskem vrhu, kjer je v talnini siva grōdenska formacija omejena s tektonsko-erozijsko diskordanco proti karbonskim plastem, v krovlini pa z muljcem rdeče grōdenske formacije. Na redukcijsko podtalnico v formaciji kažejo zeleni razbarvani sedimenti.

Ko je začela nastajati ruda, je bila formacija še vedno blizu površja. Peščenjak in konglomerat sta bila porozna. Zaradi epirogenetskih premikov so se rečna korita pričela vrezovati v starejši sediment — to je v krovlino rudonosne formacije in ponekod v samo rudonosno formacijo. Skozi erozijske »luknje« se je širila oksidacijska površinska voda v reducirani podtalnični sistem rudonosne formacije. Širila se je podobno oljnemu madežu (sl. 1). Lahko se je vtis-



Sl. 1. Shematični presek sive gródenske formacije v času nastajanja uranove rude

Fig. 1. Schematic cross-section of gray Val Gardena formation during the uranium ore deposition

nila v več desetih ali stotin kvadratnih kilometrov rudonosne formacije. P. N. Shockey je leta 1968 uvedel pojem geokemične celice za proces, ki se pojavi, ko oksidacijska voda prodira v reducirani peščenjak, bogat z organskimi ostanki in piritom, kar povzroča spremembo peščenjaka ter nastanek rudnih teles na robovih spremenjene cone (R. I. Rackley, 1976). Oksidacijska voda je na svoji poti verjetno izluževala uran iz drobcev tufov, predornin in žilnin, ki so tvorili del klastitov rudonosne formacije. Uran se je izločal na meji med oksidacijsko in redukcijsko podtalnico. Pri kemičnih reakcijah na oksidacijski in redukcijski strani meje imajo po vsej verjetnosti bistveno vlogo bakterije. Čim večjo prostornino sedimenta izlužijo oksidacijske vode, tem več urana koncentrirajo na robu geokemične celice, kjer nastanejo na ta način večja rudna telesa.

Napredovanje geokemične celice v rudonosni formaciji je pogojeno z razporeditvijo prepustnih in neprepustnih litoloških členov in intraformacijskih erozijskih diskordanc.

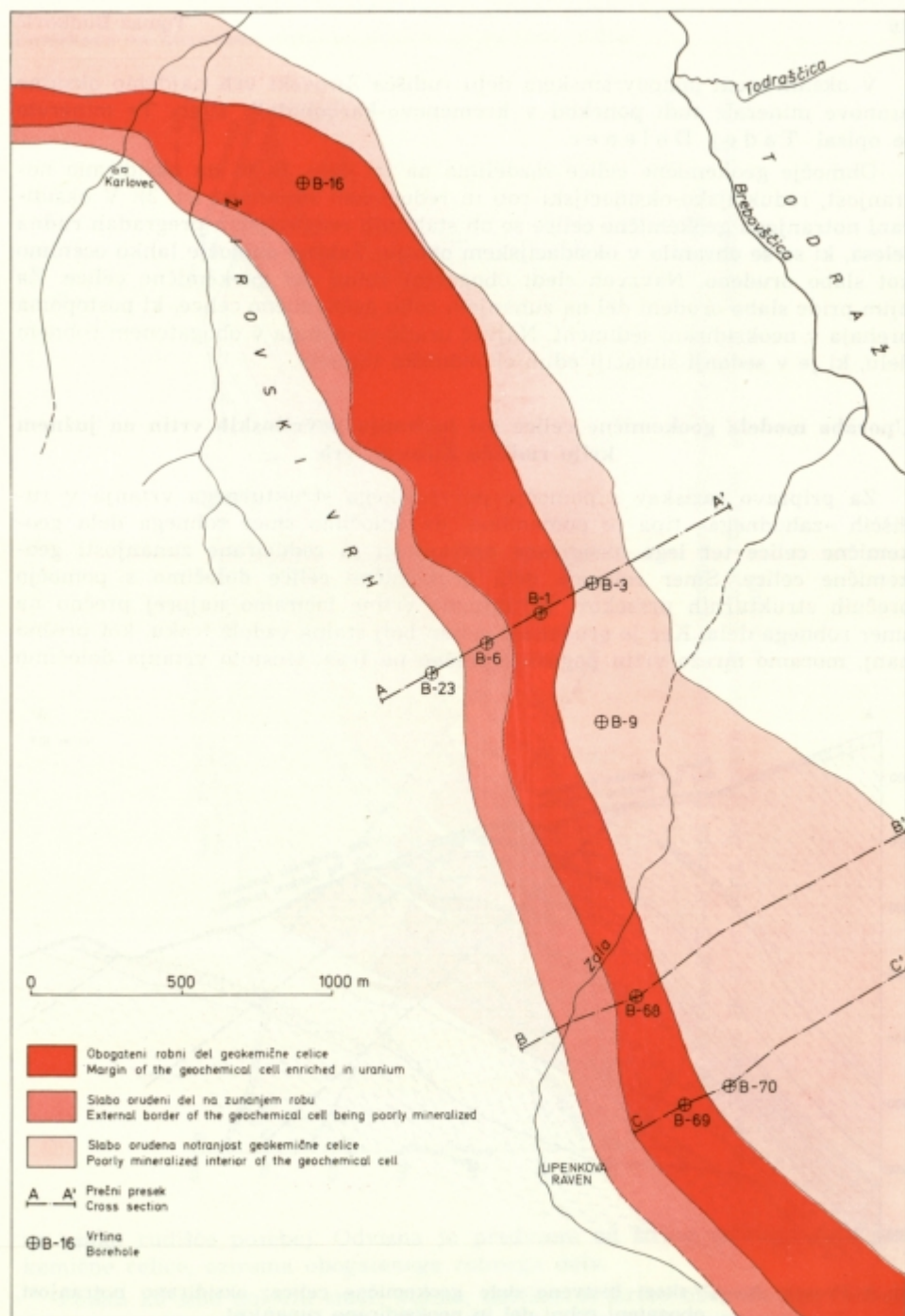
Obstajata dve vrsti redukcijskih pregrad, kjer se tvorijo rudni minerali — stabilne in mobilne.

Stabilne redukcijske pregrade predstavljajo na Žirovskem vrhu redukcijski centri, nastali v sedimentu med njegovo sedimentacijo. K njim prištevamo:

- leče in plasti črnega muljevca
- zoglenele ostanke drevesnih debel in vej ter rastlinski drobir
- konglomerat iz splak s prodniki črnega muljevca
- laminirani sivi peščenjak z detritično organsko snovjo po laminah

Ti centri ostanejo redukcijski še po prehodu oksidacijsko-redukcijskega robu prek njih in obarjajo uran iz oksidacijske podtalnice, ki jih obliva. Rudna telesa, vezana na tak center obstajajo toliko časa, dokler ga oksidacijska podtalnica v celoti ne oksidira. Ob stabilnih redukcijskih pregradah nastajajo največkrat manjša in bogata rudna telesa, ki predstavljajo »osamljene bogate podatke« pri raziskavah v našem rudišču.

Mobilno redukcijsko pregrado predstavlja meja med oksidacijsko in redukcijsko podtalnico. Rudna telesa na tej meji označujejo tako imenovano čelo oksidacijskega vala; v angleški literaturi jih imenujejo »roll front«. Usločena so v smeri napredovanja oksidacijske podtalnice. Njihova oblika in velikost sta prilagojeni debelini prepustnega sedimenta in razporeditvi neprepustnih vložkov v njem. Čela oksidacijskega vala predstavljajo največja in najbogatejša rudna telesa v rudišču. V njih je ruda conalno razporejena. Posamezno čelo oksidacijskega vala je široko do 100 metrov. Glede na vsebnost urana razlikujemo v njem dele s povprečno, z nadpovprečno in s podpovprečno koncentracijo uranove rude. Rudna telesa v čelu oksidacijskega vala imajo obliko zelo dolgih (več 100 metrov) trakov. Pri nas na Žirovskem vrhu leži takšno rudno telo med obzorjema 530 metrov in 580 m na območju sedanjih detajlnih raziskav. Dolgo je prek 1000 metrov, saj ga sledimo še na preseku P-6 v južnem delu jame. K čelu oksidacijskega vala spada tako imenovano »dvonivojsko orudenje«, ki ga je opisal M. Pečnik v investicijskem programu leta 1977. Kjer se nivoja združita, dobimo rudni trak z nadpovprečno debelino in koncentracijo. V jami opazamo rudo mobilnih redukcijskih pregrad na meji med sivim in zelenim peščenjakom na eni strani ter rjavkasto sivim peščenjakom na drugi strani.



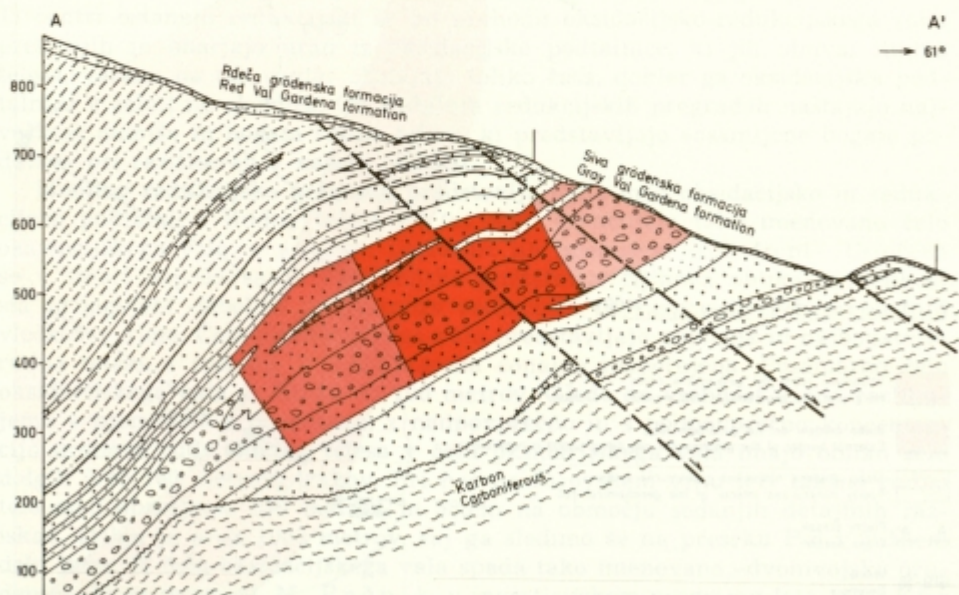
Sl. 2. Položajna skica Žirovskega vrha z vrisanim robnim delom geokemične celice
 Fig. 2. Marginal part of the geochemical cell drawn in location sketch of the uranium deposit of Žirovski vrh

V oksidiranem podpovršinskem delu rudišča Žirovski vrh najdemo oksidne uranove minerale tudi ponekod v kremenovo-karbonatnih žilah. Te minerale je opisal Tadej Dolenc.

Območje geokemične celice razdelimo na tri dele, in to na oksidirano notranjost, redukcijsko-oksidacijski rob in reducirano zunanost (sl. 2). V oksidirani notranjosti geokemične celice so ob stabilnih redukcijskih pregradah rudna telesa, ki so se ohranila v oksidacijskem okolju. Takšno območje lahko ocenimo kot slabo orudeno. Navzven sledi obogateni robni del geokemične celice. Za njim pride slabo orudeni del na zunanjem robu geokemične celice, ki postopoma prehaja v neoksidirani sediment. Največ urana se nahaja v obogatenem robnem delu, ki je v sedanjih situaciji edini ekonomsko zanimiv.

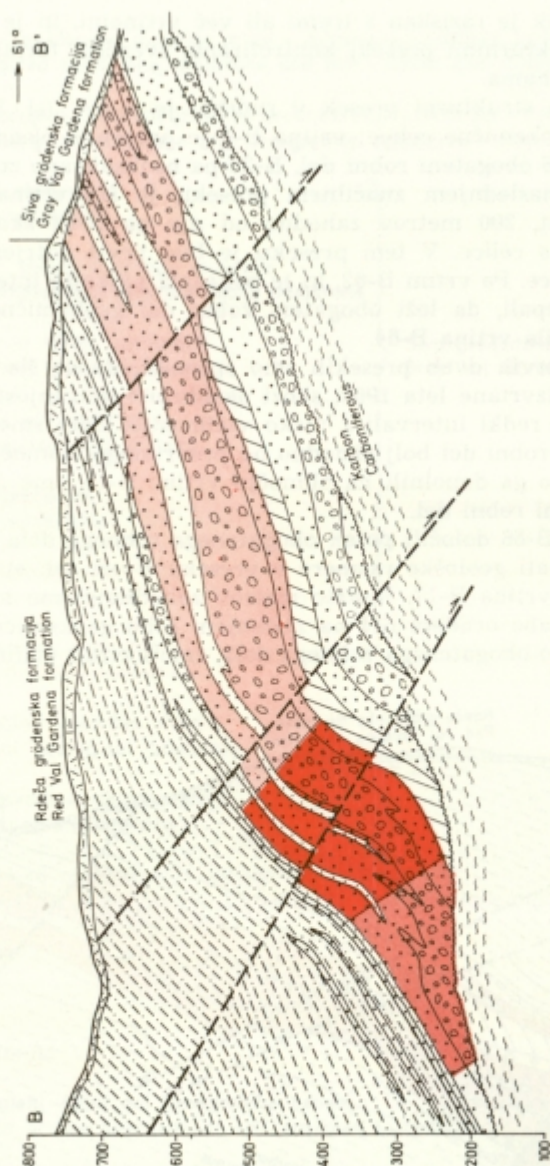
Uporaba modela geokemične celice pri lociranju površinskih vrtin na južnem krilu rudišča Žirovski vrh

Za pripravo raziskav s pomočjo površinskega strukturnega vrtanja v rudiščih »zahodnega« tipa je pomembno, da določimo smer robnega dela geokemične celice ter lego oksidirane notranjosti in reducirane zunanosti geokemične celice. Smer robnega dela geokemične celice določimo s pomočjo prečnih strukturnih presekov. Strukturne vrtime lociramo najprej prečno na smer robnega dela. Ker je orudenost veliko bolj stalna vzdolž traku, kot prečno nanj, moramo mrežo vrtin pogostiti prečno na trak. Gostoto vrtanja določimo



Sl. 3. Presek A—A' skozi bistvene dele geokemične celice: oksidirano notranjost, obogateni robni del in neoksidirano zunanost

Fig. 3. Section A—A' crossing the essential parts present in the geochemical cell: oxidized interior, enriched marginal part, and unoxidized exterior



Sl. 4. Presek B—B' skozi vzhodno mejo obogatenega robnega dela geokemične celice
 Fig. 4. Section B—B' crossing the eastern border of the geochemical cell rich
 in uranium

za vsako rudišče posebej. Odvisna je predvsem od širine robnega dela geokemične celice, oziroma obogatenega robnega dela.

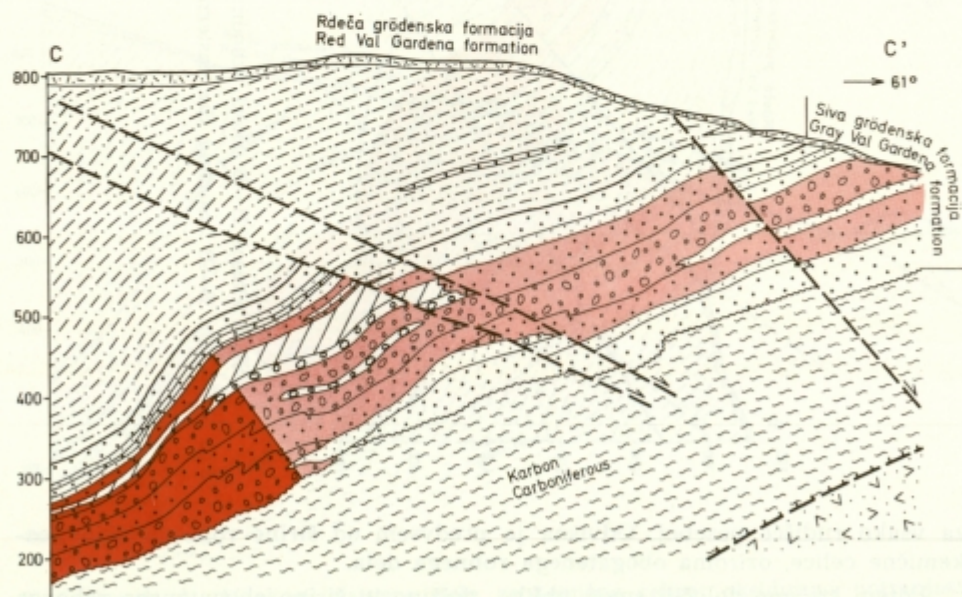
Potem ko smo določili smer, obliko, dolžino in širino obogatenega robnega dela v osrednjem delu rudišča Žirovski vrh, smo temu ustrezno prilagodili vrtanje v južnem, podaljšku rudišča. Prečni preseki so oddaljeni drug od drugega 400 metrov, vrtine v posameznem preseku pa so 200 metrov narazen. Vsak

drugi ali tretji presek je raziskan s tremi ali več vrtinami, in je označen kot strukturni. Med strukturnimi preseki kontroliramo zveznost formacije in rude z eno ali dvema vrtinama.

Najbolje raziskan strukturni presek v rudišču je A—A' (sl. 3), ki prečka vse bistvene dele geokemične celice; vrtina B-3 je prevrtala oksidirano notranjost, B-1, V-1 in B-6 obogateni robni del, B-23 pa neoksidirano zunanost geokemične celice. V naslednjem značilnem preseku je šla vrtina B-62 skozi oksidirano notranjost, 200 metrov zahodno od nje pa B-64 skozi obogateni robni del geokemične celice. V tem preseku je bila prvič potrjena conarnost roba geokemične celice. Po vrtini B-62, ki je pokazala redkejšje intervale z nižjo vsebnostjo, smo sklepali, da leži obogateni robni del geokemične celice bolj zahodno; to je potrdila vrtina B-64.














Po izkušnjah v prvih dveh presekih smo spoznali, da so šle vrtine B-15, B-17, B-10 in B-13, izvrtane leta 1962, skozi oksidirano notranjost geokemične celice, ker so v njih redki intervali z nizko vsebnostjo. Zato smo sklepali, da se razteza obogateni robni del bolj zahodno od prevrtanega območja. V naslednjem preseku, ki smo ga dopolnili na območju vrtine B-15, smo z vrtino B-66 zopet zadeli obogateni robni del.

Ko smo z vrtino B-66 določili potek obogatenege robnega dela, smo sklenili bolj natančno raziskati geološke razmere v preseku B—B' (sl. 4), kjer je bila izvrtana strukturna vrtina B-17. Šeststo metrov zahodnejše smo locirali vrtino B-67, ki je zadela slabo orudeni del na zunanjem robu geokemične celice. Da bi našli vzhodno mejo obogatenege robnega dela, smo locirali vrtino B-68.



Sl. 5. Presek C—C' skozi obogateni robni del geokemične celice

Fig. 5. Section C—C' crossing the marginal part of the geochemical cell rich in uranium

-  Preperina
Weathering rock
-  Pisani peščenjak, muljevec in tuf - Julijska in tuvalijska podstopnja
Variegated sandstone, mudstone and tuff - Julian and Tuvalian substage
-  Prevladujeta rdeči muljevec in drobnozrnati peščenjak - Rdeča grōdenska formacija
Prevailing red mudstone and fine-grained sandstone - Red Val Gardena formation
-  Rdeči muljevec
Red mudstone
-  Vložki sivenga in črnega muljevca
Intercalations of gray and black mudstone
-  Rdeči in zeleni peščenjak
Red and green sandstone
-  Pisani konglomerat
Variegated conglomerate
-  Sivi peščenjak
Gray sandstone
-  Sivi konglomerat
Gray conglomerate
-  Karbonska formacija
Carboniferous formation
- Normalna geološka meja
Normal geological boundary
- ~~~~ Erozijskodiskordantna meja
Erosional unconformity
- Meja med rdečo in sivo grōdensko formacijo
Contact between the red and gray Val Gardena formation
- Prelom
Fault
- ↑↑↑ Nariv
Overthrust
-  Obogateni robni del geokemične celice
Margin of the geochemical cell enriched in uranium
-  Slabo orudeni del na zunanjem robu
External border of the geochemical cell being poorly mineralized
-  Slabo orudena notranjost geokemične celice
Poorly mineralized interior of the geochemical cell

Siva grōdenska formacija
Gray Val Gardena formation

Legenda k sl. 1, 3, 4 in 5
Explanation of figs. 1, 3, 4 and 5

Najnovejše strukturno vrtnanje v preseku C—C' (sl. 5) je pokazalo enako sliko; z vrtnama B-69 in B-70 smo našli pričakovani obogateni robni del bolj zahodno od vrtin iz leta 1962. Njegov tloris je zelo pravilen kljub na videz velikim tektonskim porušitvam. Na podlagi tega pričakujemo, da je preostali del sive grōdenske formacije proti Smrečju, dolg okoli 3,5 km, zelo perspektiven.

O načinu raziskav novih rudišč v grōdenskih skladih

Po izkušnjah na Žirovskem vrhu naj bi si sledile raziskovalne faze uranovih rudišč drugod v grōdenskih skladih v naslednjem vrstnem redu:

a) Sistematično litostratigrafsko in tektonsko kartiranje sive in rdeče grōdenske formacije v merilu 1 : 10 000; karta naj prikaže sedimente po zrnivosti (konglomerat, peščenjak in muljevec) in barvi (siva, zelena in rdeča). Na podlagi kartiranja napravimo pregledno litostratigrafsko zaporedje.

b) Površinska poldetajlna radiometrična prospekcijska na podlagi geološke karte 1 : 10 000. Z njo omejimo golice sive grōdenske formacije in sivih vložkov v rdeči formaciji ter v glavnem določimo položaj rudonosne cone.

c) Stratimetrija izbranih profilov sive in rdeče grōdenske formacije v merilu 1 : 100, da se natančneje opredelijo posamezne litostratigrafske enote ter okolje sedimentacije.

d) Površinska detajlna radiometrija po karti 1 : 2000 do 1 : 1000 (emancipacija, sled in radiometrija razkopov z ekranom). Po teh meritvah najprej točno določimo lego rudnih golic, jih nato vzorčujemo in vzorce kemično analiziramo.

e) Detajlna površinsko kartiranje v merilu 1 : 2000 do 1 : 1000 hkrati s fazo d). Označujemo do dva metra debele plasti in leče posameznih litoloških členov, in sicer po barvi (sive, zelene, rdeče), zrnavost (konglomerat, peščenjak, muljevec) in prodniške združbe (sivi in pisani konglomerat).

f) Površinsko strukturno vrtnanje za nadrobno določitev geološke strukture in litostratigrafije. Izberemo vsaj dva ali tri preseke prečno na smer rudonosne formacije in v vsakem izvrtamo tri do štiri vertikalne vrtine.

g) Površinsko strukturno vrtnanje za določitev lege, razsežnosti, kvalitete in smeri obogatenelega robnega dela geokemične celice. Na podlagi gostote rudnih golic ocenimo, kje prihaja na površje obogateni robni del geokemične celice. S strukturnim vrtnanjem skušamo določiti njegovo smer, širino in debelino. Ko ugotovimo navedene lastnosti, prilagodimo mrežo vrtin meram in smeri traku. Trak »lovimo« s prečnimi strukturnimi preseki. Gostota vrtin naj bo vsaj še enkrat večja prečno na smer obogatenelega robnega dela kot vzdolž smeri. Z vrtnjem v tej fazi dobimo podatke o smeri obogatenelega robnega dela, debelini rudonosne cone, njeni litološki sestavi, približni smeri rudnih pasov in razporeditvi rude v njih, o stopnji orudenosti ter o tektoniki področja. Jedra vrtin vzorčujemo za določitev tehnoloških lastnosti rude.

h) Geološko projektiranje jamskih poldetajlnih raziskav. Projektirati moramo tako, da sistematično pokrijemo rudonosno cono od njene krovnine do talnine. Rudonosno cono je pri poldetajlnih raziskavah možno pokrivati edinole s sistemom horizontalnih prog, ki jih kombiniramo s prečniki. Medobzorno razdaljo določimo glede na geološke razmere. Iz prečnikov pokrivamo rudonosno cono s pomočjo jamskega strukturnega vrtnanja, in sicer z navpičnimi vrtnami.

Sistem ramp v fazi poldetajlnih raziskav ni uporaben, ker z njim geološko ne moremo obvladati prostora in bi nam zopet ostajale neraziskane "luknje".

Poldetajlne jamske raziskave moramo kvalitetno in tekoče geološko spremljati. Hodniki, ki jih kartiramo, morajo biti prej oprani. Pri geološkem kartiranju moramo razlikovati in označevati barvo, zrnavost in prodniške združbe. S pomočjo jamskih poldetajlnih raziskav dobimo natančno sliko o litološki sestavi rudonosne cone, legi rudnih pasov, rudnih nivojev in razvrstitvi rudnih teles.

i) Na podlagi poldetajlnih raziskav v jami projektiramo progo za detajlne raziskave. Projektirana naj bo tako, da zajame s čim manj vrtnanja kar največjo površino rudnih teles. Proga za detajlne raziskave je lahko tudi rampa, če se tako bolje prilagodi raziskavam. Ker so proge za detajlne raziskave izredno drage, morajo služiti tudi zračenju, transportu itd. Zato mora pri njihovem lociranju sodelovati rudarski projektant.

j) Po končanih detajlnih raziskavah sledi faza projektiranja odkopov in odkopavanja.

Sklep

Pri projektiranju površinskega vrtnanja na južnem krilu rudišča Žirovski vrh smo v letih 1979 in 1980 uporabili model geokemične celice. Ob manjšem obsegu strukturnega vrtnanja v primerjavi s prej veljavnim sistemom smo pokrili dosti večji prostor. Zanesljivost koncepta geokemične celice se kaže v uspehu vrtnanja; od sedmih vrtin jih je pet navrtalo dobro rudo, dve pa njeno obrobje. Dolžina odkritega južnega podaljška rudišča znaša okrog 2000 metrov. Raziskave so trajale dve leti in v tem času so se zaloge uranove rude na Žirovskem vrhu povečale za več kot 50 %. Pričakovati pa je, da se bodo zaloge še povečale, ker so geološke razmere proti jugu ugodne do zaselka Smrečje.

Nov koncept bo uporaben tudi na območju jame. Rudonosna cona namreč na tem prostoru ni raziskana sistematično. Z določitvijo meja obogatenega robnega dela bi tudi tod natančneje omejili prostor za jamske poldetajlne raziskave. Na ta način bi že na območju obstoječe jame znatno povečali rudne zaloge.

Tretja možnost uporabe modela geokemične celice se nudi pri raziskavah na drugih rudiščih, kjer so se doslej praktične izkušnje z Žirovskega vrha premalo upoštevale.

Exploration at Žirovski vrh uranium deposit on principle of the geochemical cell

Summary

The origin of the uranium ore deposit of Žirovski vrh (Žiri peak) is considered from the viewpoint of the geochemical cell. The ore-bearing gray Val Gardena formation is believed to have been deposited mainly in the environment of a braided river. Its minor part appears to have been accumulated by a meandering stream. The thickness of the gray Val Gardena formation amounts to 405 metres. The structural relationship between the underlying Carboniferous beds and the ore-bearing formation is characterized by a considerable interval of erosion marked by an uneven erosion surface of appreciable relief. The gray formation grades upwards into red mudstone intercalated with red

sandstone. At irregular intervals the gray formation thins out. There the Carboniferous beds come into contact with the red Val Gardena formation. By the palynomorphs determined from the gray and black mudstone Middle Permian age of the gray Val Gardena formation is indicated. Red limestone concretions found in the top of the red mudstone point to the caliche soil deposited in subarid climates.

As regards the colour, three geochemical types of sedimentary rocks could be distinguished in the ore-bearing formation after its deposition: gray, green, and red. The gray type was reduced either during the sedimentation or immediately after the deposition. The green type being under influence of an oxidizing environment for a long time was originally red in colour. Later it was permeated by the reducing underground water and its iron (III) was decreased to iron (II). In the third type fine-grained clastites prevail being incapable of transmitting underground water. Therefore only their marginal part were modified by reducing water, while their bulk remained red.

At the beginning of the ore deposition, the gray Val Gardena formation lay near the surface. Sandstone and conglomerate were porous. During vertical rising of the earth crust the river bed was gradually cut through the hanging wall of the gray Val Gardena formation and here and there into the formation itself. Through the hollowed out places surface waters rich in oxygenium advanced into reduced underwater system of the gray Val Gardena formation. There must have been a dynamic system which was named by P. N. Shockey (1968) as geochemical cell. It is characterized by the interaction of oxidation and dissolution as well as reduction and sedimentation. End products of these formative processes are metallic and nonmetallic minerals deposited in the Val Gardena beds. The metallic minerals form uranium ore rolls in the marginal parts of the geochemical cell. Their distribution appear to depend on the organic carbon present in clastic rocks and on the action of anaerobic bacteria limited by an environmental control. The geochemical cell occurring in the river deposits is longish in shape and therefore the ore deposit is extended in ribbonlike strips (R. I. Rackley, 1976).

In the period 1979/80 the exploration at Ziri vrh were brought into accordance with the concept of the geochemical cell to promote the efficiency of drilling and development works. The attempt has a favourable result. A continuation of the ore deposit was discovered in southern direction.

Advantages of the geochemical cell model are evident from the exploration boring at Ziri vrh in the period 1979/80. From now on also underground surveying will be based on the same principle. It is expected that the enriched marginal parts of the ore-bearing zone could be found out more exactly in this way.

Literatura

Budkovič, T. 1978, Litološka kontrola uranovega orudenja na obzorju 530 m v rudišču Žirovski vrh. Rudarsko-metalurški zbornik št. 1, 25—34, Ljubljana.

Budkovič, T. 1980, Sedimentološka kontrola uranove rude na Žirovskem vrhu. Geologija 23/2, 221—226, Ljubljana.

Lukacs, E. & Florjančič, A. P. 1974, Uranium ore deposits in the Permian sediments of northwest Yugoslavia. In: Formation of uranium ore deposits, 313—329, IAEA, Wien.

Omaljev, V. 1967 a, Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu Žirovski vrh. Radovi INGRI, 3, 33—65, Beograd.

Omaljev, V. 1967 b, Korelacija slojeva u ležištu Žirovski vrh. Radovi INGRI, 3, 125—149, Beograd.

Omaljev, V. 1973, Izbor lokacija istražnih horizonata na ležištu urana Žirovski vrh. Radovi INGRI, 8, Beograd.

Rackley, R. I. 1976, Origin of western-states type uranium mineralization. In: Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, v. 7, 89—156, Edited by K. H. Wolf. Amsterdam—Oxford—New York.

Shawe, D. R. & Granger, H. C. 1965, Uranium ore rolls — an analysis. Economic Geology, v.60, no. 2.

Shockey, P. N., Rackley, R. I. & Dahill, M. P. 1968, Source beds and solution fronts. Remarks Wyo. Met. Sect. AIME.

