

gdje je u brojniku izraz kojim su obuhvaćene sve promjene tlaka (depresije) u strujnom krugu, a u nazivniku derivacija brojnika po protoku Q . Koeficijent A služi samo da se uzme u obzir smjer strujanja zraka u granama. Ako je, naime, smjer strujanja u grani jednak smjeru kruženja u strujnom krugu, postavlja se da je $A = +1$, a ako je smjer strujanja u grani suprotan smjeru kruženja u strujnom krugu, onda je $A = -1$. Izračunata korekcija ΔQ dodaje se svim granama. Kad je ta korekcija određena za prvi strujni krug, određuje se korekcija za drugi, ali se pri tom već računa s korigiranim protocima u onim granama koje su zajedničke prvom i drugom strujnom krugu. Kad je provedena korekcija u posljednjem strujnom krugu, završena je prva iteracija proračuna. Druga iteracija počinje opet s korekcijom protoka u prvom strujnom krugu. Postupak se nastavlja sve dok se ne postigne da korekcija protoka, prema izrazu (29), u svim strujnim krugovima postane jednaka ili manja od unaprijed određene dovoljno male vrijednosti (npr. $\Delta Q \leq 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$). Da bi se to postiglo, potrebno je ~ 15 iteracija. Ako se u rezultatu pojave neke grane s negativnim protokom, znači da je stvarni smjer strujanja obrnut od pretpostavljenoga. Osnovni model služi kao osnova za dalje analize pomoću regulacijskog modela.

Regulacijski model služi za određivanje regulacijskih zahvata kojima se postiže tražena raspodjela zraka koja ne mora biti ostvarena raspodjelom prema osnovnom modelu. Prije proračuna treba podijeliti cijelu mrežu na podmreže prirodne i dirigrane raspodjele zraka. Podmreže prirodne raspodjele obuhvaćaju one dijelove mreže u kojima protoci nisu unaprijed određeni i u kojima ne postoje ventilatori.

Proračun se odvija u dvije faze. U prvoj se fazi određuju protoci metodom približavanja prema osnovnom modelu. U drugoj se fazi određuju depresije rješavanjem linearnih jednačbi, ali s tim da se grane uključuju po pravcima koji prolaze kroz zajedničke točke i regulacijske grane te se zatvaraju kroz atmosferu u polaznoj točki. Bazične su grane s određenim protocima. Vanjski su ventilatori isključeni, što omogućuje zatvaranje krugova kroz njihov smještaj i atmosferu. Od određenih se depresija odabire obično najveća koja se smatra mjerodavnom. Svakoj poziciji vanjskog ventilatora odgovara po jedna odabrana depresija, pa se tako dobivaju depresije kojima moraju odgovarati ventilatori (H_v). Sve ostale depresije (H_x) treba izjednačiti s odabranom ventilatorskom depresijom (H_v) pomoću dopunske depresije (ΔH_x) prema izrazu

$$\Delta H_x = H_v - H_x \quad (30)$$

Odatle se određuje dodatni (regulacijski) otpor R_x u grani x , pa je

$$R_x = \frac{\Delta H_x}{Q_x^2} \quad (31)$$

gdje je Q_x protok u grani x u kojoj se vrši regulacija.

Kao što je već spomenuto, proračun složenih sustava za vjetrenje moguć je pomoću električnog računala. Tada se vjetrena mreža definira njenim parametrima i pohranjuje u datoteci računala. To vrijedi i za karakteristike ventilatora. Svaka promjena topografije mreže ili nekih parametara može se uključiti u proračun i tako odrediti novo stanje vjetrenja.

E. Teply

LIT.: W. Budryk, Ventilacija kopaln. Panstowe wydawnictwo techniczne, Katowice 1951. – D. R. Scott, F. B. Hinsley, Ventilation Network Theory. Coll. Engn. XXVIII 1951, 67/71, 159/166, 229/235, 497/500. – F. Plasche, Wetterlehre und Brandbekämpfung im Bergbau. Fachbuchverlag, Leipzig 1955. – A. A. Skotschinski, W. B. Komarow, Grubenbewetterung. Berlin 1956. – C. H. Fritzsche, Bergbaukunde, 1. B. Springer-Verlag, Berlin 1959. – C. H. Fritzsche, Bergbaukunde, I, II. Springer-Verlag, Berlin 1959. – Горное дело, Энциклопедический справочник, Углетехиздат, Москва 1959. – B. Jokanović, Provetranje rudnika. Građevinska knjiga, Beograd 1960. – Справочник по рудничной вентиляции. Госгортехиздат, Москва 1963. – W. A. Neumann, F. Plasche, G. Sonnemann, Wetterlehre und Grubenbrandbekämpfung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1963. – L. Auer, Untersuchungen über Strömungswiderstände bei der Grubenbewetterung. VEB Deuts-

cher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968. – V. Abramović, Spasavanje u rudnicima. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb 1970. – V. Jovičić, Ventilacija rudnika. Izdavačko-informativni centar studenata (ICS), Beograd 1974. – M. Vukić, Otrovni gasovi u procesu miniranja. Tehnička knjiga, Zagreb 1978. – V. S. Vutukuri, R. D. Lama, Environmental Engineering in Mines. Cambridge University Press, Cambridge 1986.

V. Abramović R. Marušić E. Teply

RUDNA LEŽIŠTA (RUDIŠTA), akumulacije korisnih mineralnih sirovina u Zemljinoj kori nastale geološkim procesima. Da bi takva akumulacija, međutim, dobila značajnije pravoga rudnog ležišta, mora sadržavati neki minimalni udio mineralne komponente (kvaliteta rude) i neku minimalnu količinu rude (rudna rezerva), a njezina eksploatacija mora biti tehnički moguća i ekonomski opravdana. Ti uvjeti nisu stalni, nego se mijenjaju s napretkom rudarske tehnike i potražnjom pojedinih mineralnih sirovina.

Ako se rudno ležište u suvremenim tehničkim uvjetima ne može ekonomično eksploatirati, naziva se *rudnom pojavom*, dok je *ruda* mineralni agregat u kojem je udio korisne komponente ili korisnih komponenata tolik da opravdava njegovo ekonomično iskorišćivanje.

Minimalni udio korisnog elementa u rudi uvijek je veći od prosječnog udjela tog elementa u Zemljinoj kori (Clarke-vrijednost, v. *Kemijski elementi*, TE 7, str. 53). Minimalni je udio olova ~ 600 puta veći od njegovog udjela u Zemljinoj kori, molibdena i urana ~ 200 puta, bakra i zlata ~ 100 puta, nikla, vanadija i cinka ~ 50 puta, kositra ~ 25 puta, a željeza $\sim 8 \cdot 10$ puta.

Što je veća vrijednost mineralne sirovine, to su manje minimalne rudne rezerve. Tako za ležišta željezne rude minimalne rudne rezerve iznose stotinjak tisuća tona, za ležišta obojenih metala desetke tisuća tona, za ležišta rijetkih metala (volfram, molibden, kositar, živa) stotinjak tona, a za ležišta plemenitih metala (zlato, platina) minimalne rezerve mogu iznositi svega nekoliko kilograma.

Mineralne sirovine mogu se razvrstati u tri skupine: a) metalne mineralne sirovine od kojih se dobivaju metali; b) nemetalne mineralne sirovine koje se upotrebljavaju u metalurgiji (topitelji), kemijskoj industriji, agronomiji, zatim kao vatrostalne i staklarsko-keramičke sirovine, kao sirovine za građevinske materijale i dr.; c) energetske mineralne sirovine (ugljen, nafta, prirodni plin, uljni škriljavci, ležišta urana).

Znanost o rudnim ležištima ima svoj početak još u doba prve upotrebe mineralnih sirovina. Moralo je, međutim, proći mnogo vremena da bi se razvila znanost o rudnim ležištima. Sve do sredine XV. stoljeća postavljale su se različite hipoteze o postanku ruda. Neke su smatrali da su rude živi organizmi koji nastaju rastom iz sjemena ili sazrijevanjem od neplemenitih metala. Bilo je mišljenja da rude imaju oblik podzemnog *zlatnog drveta* s granama od različitih metala i korijenom u središtu Zemlje.

Na prva shvaćanja o postanku rudnih ležišta utjecali su grčki filozofi Thales i Zenon. Thales ($\leftarrow 640$. god.) je držao da je voda izvor svega živoga i neživoga na Zemlji (neptunističko tumačenje postanka ruda), dok je Zenon ($\leftarrow 350$ — $\leftarrow 264$) smatrao da je vatra temelj svega (plutonističko tumačenje postanka ruda).

Prvu teoriju o postanku rudišta, utemeljenu na proučavanju pojave ruda u prirodi, postavio je Georg Bauer (*Georgius Agricola*, 1494–1555). U djelu *De re metallica* on opisuje pojavu ruda i smatra da su rudne žile nastale ispunjavanjem pukotina mineralima istaloženim iz podzemnih voda koje su uglavnom površinskog porijekla. Te su vode, zagrijane u Zemlji, otapale minerale iz stijena, a zatim ih taložile u pukotinama. *Descartes* (*Principia philosophiae*, 1644), nasuprot tome, smatra da je Zemlja zvijezda u stadiju hlađenja, pa ruda u obliku injekcija i otopina dolaze u ohlađeni omotač planeta iz rastaljene jezgre.

U XIX. stoljeću uvidjelo se da postoje rudišta nastala u vezi s magmatskim procesima u dubljim dijelovima Zemlje, ali i rudišta nastala djelovanjem geoloških procesa na površini. Postalo je jasno da ne postoji univerzalna hipoteza kojom bi se mogao rastumačiti postanak svih tipova rudišta.

Boljim upoznavanjem rudišta ustanovljeno je da se pojedini tipovi rudišta uvijek nalaze u blizini ili unutar određenih vrsta stijena. Tako se rudišta kroma, azbesta i platine nalaze u ultrabazičnim magmatskim stijenama, rudišta kositra, volframa i mnoga rudišta obojenih metala u blizini granitnih masiva, boksite leže na vapnencima ili stijenama s povećanim udjelom aluminija, a najveća ležišta željezne rude nalaze se u metamorfirnim stijenama. Time je ustanovljena genetska veza između rudišta i stijena, što je bio velik napredak.

U novije doba utvrđena je prostorna i vremenska veza između pojedinih tipova rudišta, magmatizma i tektonskih pokreta, pa je dokazano da su svi

procesu u razvoju Zemljine kore, pa tako i stvaranje rudnih ležišta, u uskoj međusobnoj vezi.

Tipovi orudnjenja i oblici rudnih tijela. Rudna tijela mogu biti različitih tipova i oblika, već prema njihovoj genezi, načinu koncentracije rude i strukturno-litološkim karakteristikama okoline u kojoj se nalaze.

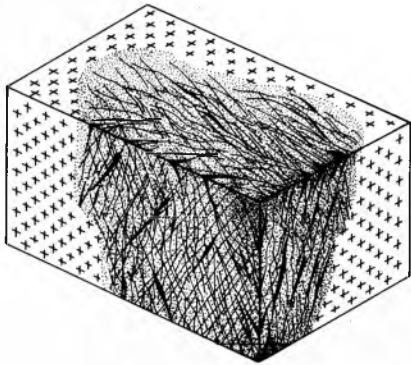
Singenetska rudna tijela nastala su u procesu formiranja okolnih stijena. Stijene na kojima rudno tijelo leži (podina) starije su, a stijene iznad rudnog tijela (krovina) su mlađe od rudnog tijela. *Epigenetska rudna tijela* mlada su od okolnih stijena.

Impregnacijski tip orudnjenja nejednoliko su raspršene koncentracije rudnih minerala u orudnjenom prostoru.

Kompaktna (masivna) orudnjenja visoke su koncentracije rudnih minerala u orudnjenom prostoru. *Štokverkno-impregnacijski* tip je orudnjenje u kojem se pored impregnacijski nalaze sustavi prslina ispunjenih rudnim mineralima.

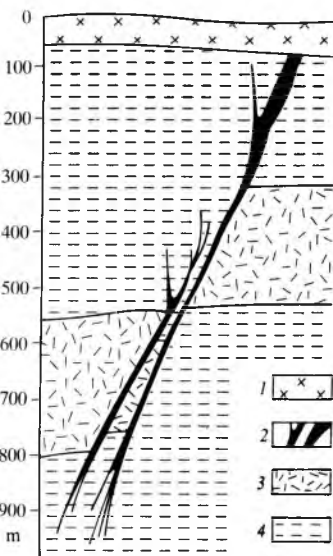
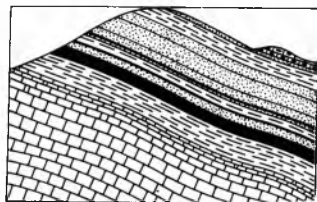
Prema obliku, rudna tijela mogu biti izometrična, pločasta i stupasta.

Izometrična rudna tijela imaju sve tri dimenzije podjednake, a presjeci su im nepravilnih oblika. Među njima se izdvajaju štokovi i gnijezda. *Štokovi* su velika rudna tijela izgrađena od kompaktne rude, štokverknog ili štokverkno-impregnacijskog orudnjenja (sl. 1). *Gnijezda* su mala rudna tijela.



Sl. 1. Impregnacijsko-štokverkno orudnjenje

Sl. 2. Slojevita rudna tijela (crno) u sedimentima



Sl. 3. Zlatonosno-srebronosna rasjedna žica San Rafael (Meksiko). 1 mladi andezit, 2 rudna žica, 3 miocenski andezit, 4 jurski škriljavci i pješčenjaci

U *pločastih rudnih tijela* dvije su dimenzije puno veće od treće. To su slojevi, leće i žice. *Slojevi* su pretežno nastali sedimentacijom, a njihove su osnovne karakteristike nagib i debljina, koji mogu biti stalni ili promjenljivi (sl. 2). *Leće* čine prijelaz od slojeva ka gnijezdima. *Žice* su epigenetska rudna tijela nastala ispunjavanjem praznog prostora pukotina ili rasjeda. *Žice* mogu biti jednostavne ili složene (sl. 3).

Rudni stupovi imaju dvije dimenzije puno manje od treće. Obično su strma nagiba, a poprečni su presjeci ovalni ili nepravilni.

GENETSKI TIPOVI RUDNIH LEŽIŠTA

Rudna ležišta nastaju procesima diferencijacije i koncentracije rudnih minerala u endogenom, egzogenom i metamorfnom ciklusu nastajanja stijena. Zbog toga postoje endogena, egzogena i metamorfogena rudna ležišta.

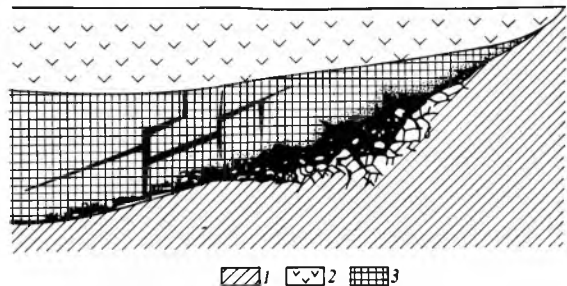
O zbivanjima u Zemljinoj kori s genetskog stanovišta v. *Petrologija*, TE 10, str. 253. U ovom se članku opisuju procesi stvaranja rudnih mineralnih parageneza.

Endogena rudna ležišta

Endogena (dubinska) rudna ležišta nastaju u vezi s geokemijskim procesima u dubljim dijelovima Zemljine kore, najčešće u vezi s magmatskim procesima. Toj grupi pripadaju magmatska, pegmatitna, skarnovska, grajzenska i hidrotermalna ležišta.

Magmaška ležišta nastaju u vezi s procesom širenja magme, neposredno iz silikatne taljevine za vrijeme hlađenja i kristalizacije magme ultrabazičnog i bazičnog sastava. Prostorno se ta ležišta nalaze u matičnim intruzivima ili u okolnim stijenama. Prema postanku magmaška ležišta mogu biti ležišta likvidnih segregata i ležišta magmaške kristalizacije.

Likvidni segregati formiraju se izdvajanjem rudne magme iz silikatne taljevine. Na visokim temperaturama sulfidi su metala otopljeni u silikatnoj taljevini. Pri snižavanju temperature počinje razdvajanje magme na silikatnu i sulfidnu taljevinu. Izdvojene kapljice sulfida koncentriraju se djelovanjem gravitacije, pretežno na dnu ili u nižim dijelovima matičnog magmaškog kompleksa, stvarajući ležišta sulfida (sl. 4). Tako su nastala ležišta niklenih i bakrenih sulfida. Sudbury u Kanadi najveće je ležište toga tipa. Ruda sadrži 2...4% nikla i 2,5% bakra, a rezerve nikla iznose nekoliko milijuna tona.



Sl. 4. Shema položaja rudnih tijela bakreno-niklenog ležišta. 1 podinske stijene, 2 krovinske stijene, 3 matične magmaške stijene

Ležišta magmaške kristalizacije nastaju iz magme obogaćene metalima i njihovim oksidima. Rudni minerali, pretežno oksidi, kristaliziraju u početnoj fazi kristalizacije magme i zbog veće gustoće tonu i tako se koncentriraju. Rudna su tijela slojnog, lećastog ili nepravilnog oblika. Tako, npr., nastaju ležišta kromita i platine u ultrabazičnim stijenama. U najvećem ležištu kromita, Bushveld u Južnoafričkoj Republici, kromit je u paralelnim slojevima debelim do 4 m koji se protežu na desetke kilometara. Ležištima kromita bogate su i Turska, Grčka, Albanija, SSSR i Jugoslavija (Makedonija).

U genetskoj su vezi s bazičnim stijenama ležišta željezno-titanskih oksida. Kristali željezo-titan-oksida izdvajaju se u

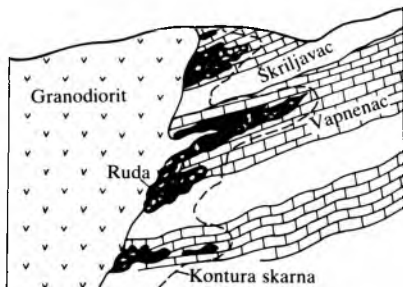
početnoj fazi kristalizacije magme ili se kao rezidualna taljevina, bogata takvim oksidima, utiskuje u već očvršle dijelove magmatskog kompleksa. Prva su rudna tijela slojevita, a druga u obliku žica. Tom tipu ležišta pripada Kiruna u Švedskoj. Rudno tijelo debljine 34...150 m dugo je više od 3 km, do dubine veće od 1000 m, s udjelom željeza od 54...68%.

Magmatskim ležištima pripadaju i ležišta dijamanata. Dijamanti su nastali pri visokim tlakovima i temperaturama u ultrabazičnim stijenama, kimberlitima, koji imaju oblik cjevastih vertikalnih tijela i zapravo su vulkanski kanali. Najveća su ležišta dijamanata u Južnoafričkoj Republici i u Sibiru.

Pegmatitna ležišta nalaze se u područjima s magmatskim i metamornim stijenama. To su žična, lečasta i nepravilna rudna tijela različitih dimenzija; duga su od nekoliko metara do više desetaka metara, a nađeni su i pegmatiti dugi do 10 km. Glavni su minerali feldspati, kremen i tinjac, često vrlo krupni, pa se zbog toga mogu eksploatirati. U nekim pegmatitima nalaze se i minerali rijetkih metala (litija, tantala, niobija, berilija, cezija, lantanida i dr.), tako da su pegmatiti glavna mineralna sirovina za dobivanje tih metala.

Postanak pegmatita različito se tumači. Neosporno je da je veći dio pegmatita, naročito onih s raznovrsnijim mineralnim sastavom, u genetskoj vezi s kiselim magmatskim stijenama. Geneza je pegmatita složen proces i vjerojatno se odvija u više stupnjeva, u temperaturnom području od 200...700 °C i pod visokim tlakovima. U početnom stupnju pegmatiti nastaju frakcijskom kristalizacijom ostatka matične magme bogate alkalijama, vodom i drugim volatilima. Nakon toga nastaje prekrizalizacija, a u završnom stupnju, pod utjecajem postmagmatskih otopina, nastaju metasomatske promjene i kristaliziraju se novi minerali. Neki pegmatiti nastaju regionalnim metamorfizmom zbog difuzije i rekristalizacije čvrste materije ili selektivnim taljenjem zbog palingeze.

Skarnovska ležišta visokotemperaturna su ležišta u genetskoj i prostornoj vezi sa skarnovima (sl. 5). Skarnovi su silikatni minerali kalcija, željeza i magnezija nastali u kontaktnoj zoni granitoidnih intruziva s karbonatnim stijenama kao rezultat procesa metasomatoze djelovanjem plinovitih tekućih hidrotermalnih otopina. Dio rudnih minerala nastao je istodobno sa skarnom, a dio naknadno. Skarnovska ležišta najčešće su vezana za kupole krupnih intruzivnih masa. Rudna tijela izgrađena su od bogate, masivne rude ili od impregnacija, a imaju pločasti, lečasti, cjevasti ili nepravilni oblik. Ruda je bogata mineralnim vrstama, a među skarnovskim ležištima mogu se izdvojiti ležišta željeza, kositra, molibdena, berilija, olova i cinka. Naročito su važna ležišta magnetita, među kojima se ističe Magnitnaja Gora na Uralu, s rudnim tijelima debelim do 70 m i s udjelom željeza od 30...67%. Ukupne su rezerve iznosile ~500 milijuna tona rude.



Sl. 5. Shematski prikaz odnosa rudnih tijela i skarnova

Grajska ležišta prema postanku, obliku i mineralnom sastavu, slična su skarnovskim. Nastaju na kontaktu kiselih granitoidnih intruziva sa silikatnim stijenama (škriljavcima, pješčenjacima, kiselim magmatskim stijenama). Mineralni im je sastav promjenljiv. Od rudnih minerala najčešći je kasiterit

i volframit, dok su rjeđi molibdenit, beril, šelit, oksidi željeza, halkopirit i dr. Od posebne su ekonomske važnosti ležišta kositra, volframa, litija i berilija.

Hidrotermalna ležišta nastaju cirkulacijom podzemnih vrućih mineralnih otopina. Rude se koncentriraju odlaganjem iz hidrotermi u šupljinama stijena. Hidrotermalne otopine prodiru uzduž pukotina i rasjeda i kroz porozne stijene naviše i na svom putu postepeno prelaze iz područja viših u područja nižih temperatura i tlakova. Tako se remeti ravnoteža hidrotermalnih otopina, pa se iz njih kristaliziraju minerali, prvo oni koji se kristaliziraju na višim temperaturama, a zatim oni s nižom temperaturom kristalizacije. Tako nastaju *mineralne parageneze* (skupine minerala), karakteristične za pojedina temperaturna područja. Na višim temperaturama formiraju se neka ležišta zlata, kobalta i nikla, i ta se ležišta nazivaju *katatermalnim*. *Mezotermalna* ležišta nastaju na srednjim temperaturama, npr. neka ležišta bakra, olova i cinka, a ležišta žive, antimona, arsena i barita glavni su predstavnici niskotemperaturnih, *epitermalnih ležišta*. Temperaturni intervali na kojima se formiraju hidrotermalna ležišta nalaze se između 400 °C i 100 °C, pri tlaku od nekoliko desetaka do stotinu MPa.

Na temelju izučavanja recentnih hidrotermi i laboratorijskih pokusa utvrđeno je da su rudonosne hidroterme kompleksne vodene otopine s visokim udjelom natrij-klorida, dosta manjim udjelom kalij-klorida i relativno niskim udjelom kalcij-klorida, te s promjenljivim udjelima ugljik(IV)-oksida, karbonata, bikarbonata, sulfatnih i sulfidnih iona. Koncentracija rudnih metala uglavnom je niska, 1...100 mg/L, katkada i do 1000 mg/L. Sastav hidrotermalnih otopina nije stalan, nego se mijenja od mjesta njihovog nastajanja do mjesta deponiranja rudnih minerala.

Budući da se minerali iz hidrotermalnih otopina pretežno kristaliziraju u pukotinama i rasjedima, oni se postupno ispunjavaju novonastalim mineralima. Tako se formiraju rudne žice koje su najčešći oblik hidrotermalnih rudnih tijela. Također su česta impregnacijska i štokverkna rudna tijela. Ako hidrotermalne otopine kemijski djeluju na okolne stijene, potiskujući stare i odlažući nove minerale, nastaju *metasomatska* rudna tijela koja se odlikuju nepravilnim oblicima.

Dimenzije su hidrotermalnih ležišta jako različite. Pojedine rudne žice duge su samo nekoliko metara, a zlatonosna kremen žica Mother Lode u Kaliforniji duga je 200 km i debela do 3 m. Najveće žice sežu i do 3 km dubine.

Okolne stijene hidrotermalnih ležišta često su izmijenjene djelovanjem hidrotermalnih otopina. Izmijenjene se stijene razlikuju od neizmijenjenih bojom i tvrdoćom, pa mogu poslužiti kao putokaz za otkrivanje rudnih ležišta.

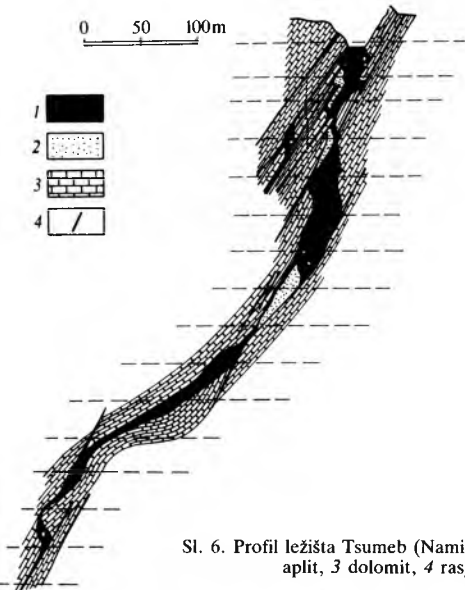
U genezi hidrotermalnih ležišta najvažnije je pitanje porijeklo vode te mineralnih komponentata od kojih kasnije nastaju rudna ležišta. Hidrotermalne otopine mogu imati različito porijeklo: a) magma, koja može sadržavati od nekoliko postotaka (bazična) do 10% vode (kiselina magma); b) konatna ili fosilna voda koja je uklopljena u pore stijena za vrijeme njihovog nastajanja. Udio konatne vode ovisi o poroznosti stijena, koja se smanjuje s dubinom. Smatra se da je udio konatne vode na većim dubinama manji od 10%. U šupljinama sedimentnih stijena najčešće je morska voda, koja ima veoma nizak udio metala. Ipak, porastom temperature i tlaka na većim dubinama odvijaju se različiti genetski procesi koji mogu bitno izmijeniti kemijski sastav konatnih voda; c) voda se može pojaviti i u obliku meteorske vode dospjele u dublje dijelove Zemljine kore uzduž pukotina i rasjeda. Slično konatnoj vodi, i meteorske vode na većim dubinama dobivaju svojstva hidrotermalnih otopina; d) metamorfna je voda nastala oslobađanjem konatne vode i vode vezane za petrogene minerale procesima metamorfoze tih stijena. Količina izdvojene vode proporcionalna je stupnju metamorfizma. Tako se metamorfozom većih kompleksa stijena oslobađaju veće količine vode koja se mobilizira te na visokim temperaturama i tlakovima izlučuje okolne stijene i tako se obogaćuje rudnim metalima i drugim komponentama.

Rudne hidrotermalne otopine mogu nastati ne samo iz jednog izvora nego i miješanjem vodenih otopina različitog porijekla. Nesumnjivo je da magmatske stijene, odnosno same magme i onda kad hidroterme ne potječu direktno od njih, imaju važnu ulogu u genezi većine hidrotermalnih ležišta, jer svojom termičkom energijom zagrijavaju i pokreću hidrotermalne otopine. Na to ukazuje činjenica da se hidrotermalna ležišta često nalaze u blizini magmatskih stijena te da je starost tih stijena i ležišta približno jednaka.

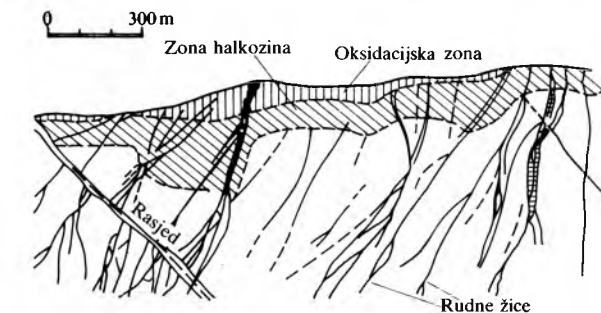
Rudni metali i prateće komponente u rudosnim otopinama mogu potjecati iz magme, iz različitih stijena kroz koje prolaze hidroterme, pri čemu one *izlužuju* elemente iz stijena, te iz starijih ležišta i rasijanih rudnih minerala na koje hidroterme djeluju.

Budući da ne postoji jasna granica između pojedinih tipova hidrotermalnih ležišta, koja se međusobno razlikuju po mineralnom sastavu, dubini, načinu postanka i obliku, ne postoji ni jedinstvena klasifikacija tih ležišta. Ipak se na temelju sličnosti hidrotermalna ležišta mogu svrstati u nekoliko grupa.

Ležišta vezana za granitoidne komplekse imaju više zajedničkih karakteristika. Nastala su u dubinama od 1...5 km, a rudni metali potječu od granitoidnih magmi, odnosno stijena. Vertikalni interval rudne mineralizacije često je vrlo velik (1...3 km), a promjene su temperature pri stvaranju rude postepene, tako da postoje različite mineralne parageneze nastale na različitim dubinama. Rudna su tijela najčešće žičnog tipa, rjeđe su nastala potiskivanjem okolnih stijena. Toj grupi pripadaju neka važna ležišta zlata (Mother Lode u SAD), kositra (Cornwall u Velikoj Britaniji), volframa (ležišta u Boliviji, Kini i SSSR), bakra (Tsumeb u Namibiji, sl. 6; Butte u SAD, sl. 7), antimona (mnogobrojna ležišta u Kini), olova i cinka (Leadville u SAD, Freiberg u Njemačkoj DR), urana (Chingolobwe u Zairu), žive (Almaden u Španjolskoj).

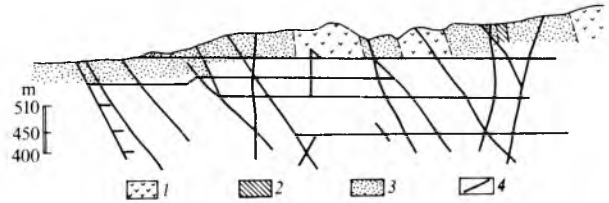


Sl. 6. Profil ležišta Tsumeb (Namibija). 1 ruda, 2 applit, 3 dolomit, 4 rasjed

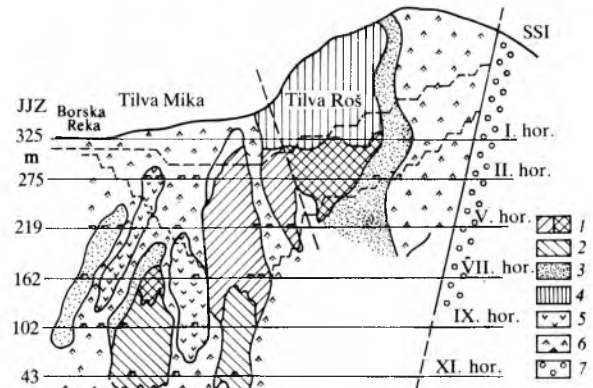


Sl. 7. Profil ležišta Butte (SAD) s položajem oksidacijske i halkozinske zone

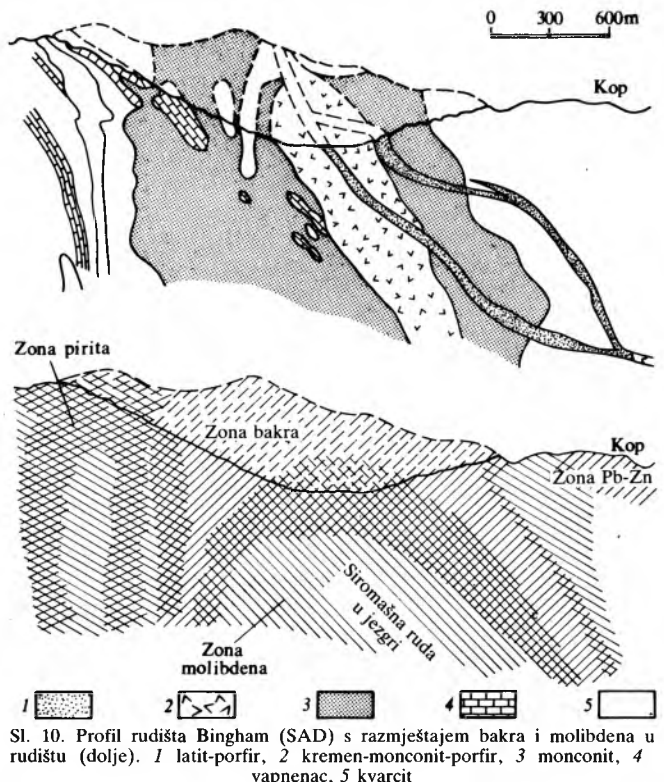
Ležišta vezana za neutralne vulkanogeno-intruzivne magmatske komplekse. Mnoga hidrotermalna ležišta nastala su u genetskoj vezi s vulkansko-subvulkanskim dacitsko-andezitnim kompleksima i njihovim dubinskim ekvalentima. Za razliku od prethodnog tipa, ta su ležišta pretežno nastala u mlade geološko doba. Rudna tijela smještena su u vulkanskom krateru ili oko kratera, a magmatske i druge okolne stijene obično su jako hidrotermalno izmijenjene. Rudna su tijela složene građe; rudne žice su nepravilnog oblika s čestim grananjima, česta su impregnacijska i štokverknna rudna tijela



Sl. 8. Rudne žice zletovskog rudišta. 1 dacit, 2 hidrotermalno izmijenjene stijene, 3 piroklasti, 4 rudne žice



Sl. 9. Profil borskog rudišta. 1 kompaktna piritna tijela s bakrenim mineralima i bez njih, 2 mrežasta piritna ruda s bakrenim mineralima, 3 impregnacijski tip rude, 4 izlužena ruda (šupljikavi kremen), 5 andezit, 6 hidrotermalno promijenjeni andezit, 7 konglomerat



Sl. 10. Profil rudišta Bingham (SAD) s razmještajem bakra i molibdena u rudištu (dolje). 1 latit-porfir, 2 kremen-monconit-porfir, 3 monconit, 4 vapnenac, 5 kvarcit

te nepravilna metasomatska tijela u karbonatima. Mineralne parageneze često su vrlo bogate, a u nekim su ležištima na malom prostoru koncentrirane velike količine metala. Taj tip ležišta čest je u Jugoslaviji te mu pripadaju mnoga važna ležišta u Srbiji i Makedoniji. Prema mineralnim paragenezama mogu se izdvojiti ležišta olova i cinka (Trepča, Srebrenica, Zletovo, sl. 8), bakra (Bor, sl. 9), srebra (mnoga ležišta u Meksiku), antimona (antimonitna ležišta Srbije i Makedonije).

Porfirna ležišta genetski su vezana za granodioritne i dioritne stijene. Rudišta su smještena u apikalnim (vršnim) dijelovima masiva tih stijena, gdje im je struktura porfirna. To su ležišta bakra i molibdena velike ekonomske važnosti, jer daju više od polovice svjetske proizvodnje bakra i molibdena. Rudna su tijela štokverkno-impregnacijskog tipa s niskim udjelom metala (najčešće manje od 1%), tako da se obično eksploatira samo dio ležišta obogaćen površinskim procesima. Rudna su tijela ogromnih dimenzija, njihovi su horizontalni presjeci površine do 4 km², a vertikalno se protežu nekoliko stotina metara. Najveća rudišta bakra tog tipa sadrže 10·15 milijuna tona metala. Među mnogobrojnim ležištima toga tipa treba spomenuti ležište Bingham (sl. 10) i Ajo u SAD, Chuquicamata u Čileu i Majdanpek u Jugoslaviji, te ležišta molibdena Climax u SAD.

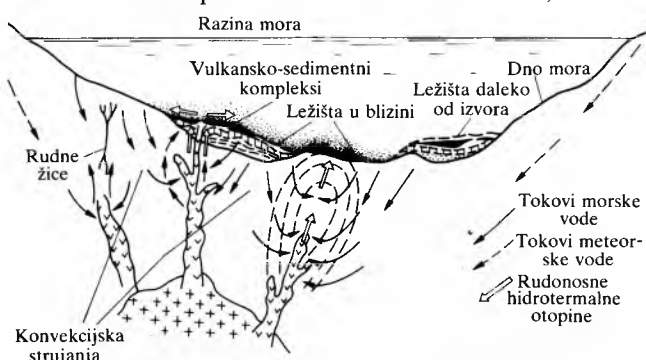
Niskotemperaturna ležišta olova i cinka u karbonatnim stijenama nalaze se u nekim stratigrafskim razinama sedimentnih stijena i stoga se još nazivaju i stratiformnim ležištima. Rudna tijela najčešće su u dolomitima, rjeđe u vapnencima, a samo iznimno u klastičnim stijenama. Za ta su ležišta karakteristična slojevito-trakasta konkordantna rudna tijela, ali se nalaze i diskordantne žice u zonama razlamanja i orudnjene breče. Mineralni je sastav rudišta jednostavan: galenit, sfalerit, barit, a rjeđe fluorit, pirit, markazit i halkopirit. Ta su ležišta nastala na temperaturama od 70·150 °C.

Nema jedinstvenog mišljenja o genezi stratiformnih ležišta. Neki smatraju da su nastala za vrijeme sedimentacije i dijageneze karbonatnih stijena, kad su rudni metali dospjeli s kopna ili iz okolnih stijena. Prema drugim mišljenjima, ležišta su hidrotermalno-epigenetska, a o porijeklu hidrotermi i rudnih metala postoje različite hipoteze.

Tom tipu pripadaju mnoga važna ležišta olova i cinka: Mississippi Valley u SAD, ležišta cinka u trijaskim dolomitima u Šljonsku u Poljskoj, Mežica u Jugoslaviji i dr.

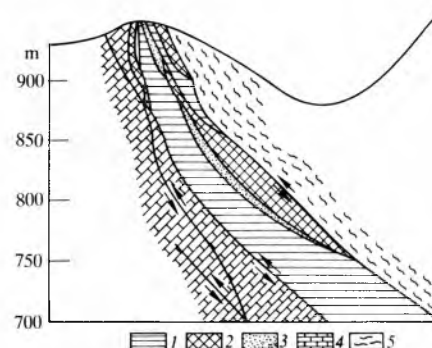
Hidrotermalna vulkanogeno-sedimentna ležišta genetski su vezana za submarinske vulkanske i intruzivne neutralne i bazične magme. Rudni se minerali odlažu iz hidrotermi na morskom dnu u neposrednoj blizini izljeva magme, ili na većoj udaljenosti, ponekad gdje su tragovi vulkanske aktivnosti neznatni ili se uopće ne zapažaju. Temperatura je nastanka rudnih minerala od 100·300 °C.

Morska voda čini najveći dio hidrotermalnih otopina, dok je udio juvenilne i meteorske vode znatno manji. Morska voda prodire u dubinu prema magmi do nekoliko kilometara, gdje se zbog blizine magme zagrijava i vraća prema morskom dnu. Rudni metali dijelom potječu od vulkansko-intruzivnih kompleksa, a dijelom od okolnih stijena kroz koje prolaze hidrotermalne otopine. Dolaskom na morsko dno, odnosno



Sl. 11. Shematski prikaz vulkanogeno-sedimentnih ležišta

u more, naglo se mijenjaju fizikalno-kemijski uvjeti okoline, pa se rudni minerali brzo talože, te nastaju rudna tijela slojnog i čestog oblika (sl. 11).



Sl. 12. Profil vareškog rudišta. 1 siderit, 2 hematit, 3 vapnenac, 4 lapor s vapnencem, 5 škrljavci s rožnacijama

Prema mineralnom sastavu razlikuje se nekoliko tipova hidrotermalnih vulkanogeno-sedimentnih ležišta. Poznata su ležišta masivnih sulfida koja sadrže pretežno pirit te promjenljive količine sulfida bakra, olova i cinka, barita, zlata i srebra (npr. Rio Tinto u Španjolskoj i Kuroko u Japanu). Ležišta barita ponekad sadrže sulfide željeza, olova, cinka i bakra, ali mogu biti i bez njih. U ležištima željezne rude rudni su minerali hematit i siderit, rjeđe željezni silikati. Značajnija su ležišta toga tipa Lahn-Dill u SR Njemačkoj i Vareš u Jugoslaviji (sl. 12). Slična su ležišta manganske rude, s psilomelanom kao glavnim rudnim mineralom (Čevljanovići kod Vareša).

Egzogena rudna ležišta

Stvaranje egzogenih rudnih ležišta vezano je za geokemijske procese na površini ili u pripovršinskoj zoni Zemljine kore. Mineralne se tvari koncentriraju u tankoj zoni do razine podzemne vode i na dnu rijeka, jezera i mora. Egzogena ležišta nastaju kemijskim, biokemijskim i mehaničkim odvajanjem mineralne materije djelovanjem vanjskih sila.

Djelovanjem tektonskih sila i erozije, na površinu Zemlje dospijevaju magmatske, metamorfne i sedimentne stijene, pa na minerale tih stijena djeluju površinske sile. U tim su uvjetima silikati, oksidi, karbonati i sulfidi više ili manje nepostojani te se u potpunosti ili dijelom razaraju. Produkti tih reakcija odjeljuju se jedni od drugih i površinskim se silama prenose na različite udaljenosti. U povoljnim uvjetima stvaraju se nove mineralne zajednice koje su u površinskim uvjetima stabilne, među njima i rudni minerali.

Površinske sile što razaraju jedne i stvaraju druge minerale mogu biti fizičke, kemijske ili biokemijske. Fizički djeluju temperature promjene u toku dana i noći, ljeta i zime, te tekuća voda, valovi i vjetar. Kemijski djeluje u prvom redu voda zbog svoje sposobnosti otapanja, zatim kisik, ugljik(IV)-oksid i u vodi otopljene soli. Biokemijski faktori vezani su za djelovanje živih organizama i produkte njihova metabolizma.

Geokemijsko ponašanje pojedinih elemenata u površinskim uvjetima razaranja stijena, transporta i koncentracije materije ovisi o svojstvima njihovih iona. Kao mjerilo ponašanja iona V. M. Goldschmidt uveo je pojam nazvan ionskim potencijalom, što je omjer između naboja iona i njegovog polumjera. Na temelju tog omjera može se odrediti sposobnost stvaranja kiselina i baza te ponašanje iona u vodenim otopinama. Bazična svojstva iona rastu s povećanjem polumjera i sa smanjenjem naboja, dok je sposobnost stvaranja kompleksnih kiselina to veća što je polumjer manji, a naboj veći.

Ioni s malim ionskim potencijalom (< 3), npr. Na⁺, K⁺, Ba²⁺, Pb²⁺, Ca²⁺, Fe²⁺, prelaze pri površinskom trošenju iz minerala u prave ionske otopine. Najlakše su topive alkalijske koje se površinskim vodama odvođuju u more, a izlučuju se samo isparivanjem vode u naročitim klimatskim uvjetima.

Ioni sa srednjim ionskim potencijalom ($3 \cdot \dots \cdot 10$), kao Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{4+} , zatim ioni titana i vanadija u površinskim vodama, talože se kao hidroksidi, te se u obliku hidrogela prenose na manje udaljenosti ili ostaju na mjestu kao visokodispergirani minerali. Tako nastaju ležišta glina i boksita te neka ležišta željezne rude.

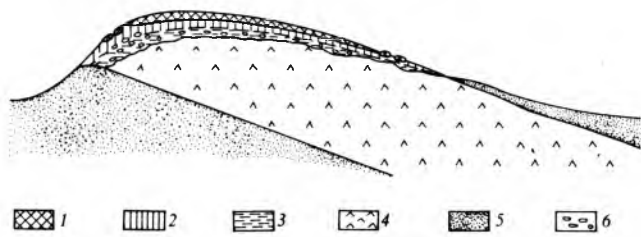
Fosfor, ugljik, sumpor, bor i krom, s visokim ionskim potencijalom (> 10), tvore s hidroksilnim ionima vode kiselinske radikale, tj. jake anionske komplekse koji su lako topivi, te ih površinske vode pretežno odnose u more. Međutim, u određenim uvjetima oni talože niz spojeva kao što su netopivi karbonati, sulfati, fosfati i dr. Egzogeni su ležišta, prema uvjetima postanka, ležišta raspadanja i sedimentna ležišta.

Ležišta raspadanja nastaju površinskim raspadanjem primarnih stijena. Produkti raspadanja, od kojih nastaju rudni minerali, ostaju na mjestu ili se transportiraju na male udaljenosti, najčešće samo unutar matične stijene. Važnija su ležišta toga tipa rezidualna ležišta kaolina, ležišta boksita, željezovitog laterita i nikla, te infiltracijska ležišta urana i magnezita.

Ležišta kaolina nastaju procesima raspadanja stijena bogatih glinencima i tinjcima. Rudna tijela su slojnog i lećastog oblika, s postepenim prijelazom u matičnu stijenu prema podini. Udio je kaolinita u rudi $10 \cdot \dots \cdot 25\%$.

Ležišta boksita prema načinu postanka i okolini u kojoj se nalaze mogu biti lateritni i krški boksiti.

U humidnim tropskim uvjetima, na povišenim područjima gdje je moguća jaka cirkulacija meteorskih voda kroz površinske dijelove alumosilikatnih stijena, nastaju ležišta lateritnog boksita. U uvjetima povišene temperature i jakog izluživanja stijena meteorskim vodama, iz stijena se izlužuje i silicij. Aluminij-oksidi se talože u vidu gela kao hidroksid koji zatim kristalizira, najčešće kao džipsit, $Al(OH)_3$. Jednako se ponaša i prisutno željezo koje daje getit. Zbog malo veće migrabilnosti aluminija, lateritni profili su zonalne građe: u njihovom donjem dijelu, sa slabijom cirkulacijom vode, neposredno na neizmijenjenim matičnim stijenama nalazi se glinoviti laterit, u srednjem je dijelu zona s alumohidroksidima (zona obogaćenja), a na površini je željezovita kora izgrađena od getita i hematita (sl. 13). Matične stijene lateritnih boksita odlikuju se povećanim udjelom aluminija te umjerenim udjelom silicija i željeza.



Sl. 13. Profil lateritnog ležišta. 1 željezovita kora, 2 zona obogaćenja, 3 glinoviti laterit, 4 dijabaz, 5 pješčenjak, 6 blokovi dijabaza

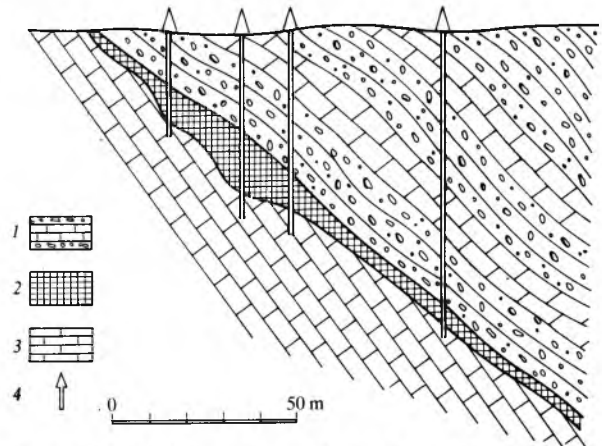
Lateritni boksiti nalaze se u mnogim zemljama tropskog područja, a ističu se ležišta u Australiji, Indiji, Gani, Gvineji i Brazilu. Velika ležišta sadrže od više stotina milijuna do nekoliko milijardi tona boksita. Oko 90% rudnih rezervi boksita nalazi se u tom tipu ležišta, a i većina proizvodnje potječe iz takvih ležišta.

Krški boksiti dobili su naziv po tome što se nalaze u područjima u kojima prevladavaju karbonatne stijene. U podini su ležišta vapnenci, rjeđe dolomiti, a u krovini mogu biti različite sedimentne stijene. Rudna tijela boksita nastala su zapunjavanjem krških udubljenja, te su zato nepravilnog ili lećastog oblika, rjeđe slojevita, pa je kontaktna ploha s podinskim karbonatnim stijenama veoma nepravilnog oblika, a s krovinskim stijenama pretežno ravna (sl. 14 i 15). Veličina rudnih tijela je različita i varira od malih rudnih pojava do onih koje sadrže više milijuna tona boksita.

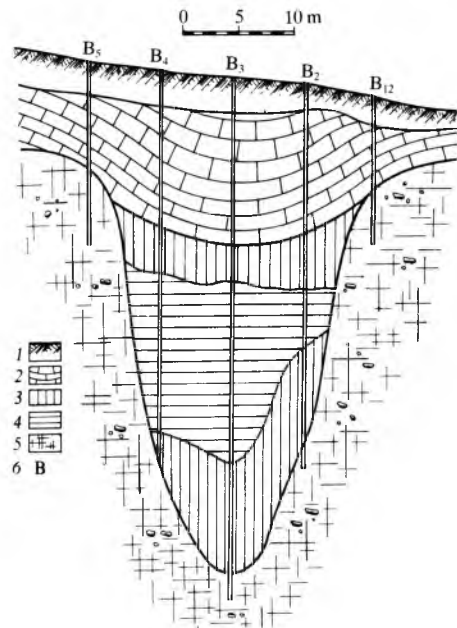
Mineralni je sastav boksita promjenljiv. Sastoji se od aluminij-hidroksida džipsita, bemita, $AlOOH$, i rjeđe dijaspo-

ra, $HAlO_2$, zatim kaolinita (do $\sim 10\%$) i minerala željeza koji boksitu daju crvenu boju.

Za razliku od lateritnih boksita, geneza krških boksita nije u potpunosti riješena. Nesumnjivo je da su i krški boksiti nastali površinskim kemijskim trošenjem alumosilikatnog materijala u tropskim humidnim uvjetima, ali često nije riješeno porijeklo toga materijala. Moguće je da on potječe od primjesa podinskih karbonatnih stijena kojih ima oko 1% i koje se pretežno sastoje od minerala glina. Dugotrajnim otapanjem karbonatnih stijena iz njih se oslobađaju primjese, stvarajući na površini sloj tipa *terra rossa*, koji procesima lateritizacije prelazi u boksit. Prema drugim pretpostavkama, ishodišni su materijal produkti površinskog trošenja okolnih alumosilikatnih stijena, koji se vodom ili vjetrom prenose na karbonatna područja. Također je moguće da je ishodišni materijal vulkanski pepeo donesen vjetrom. Vjerojatno je da nema jedinstvenog postanka krških boksita, nego je u pojedinim boksitonosnim područjima ishodišni (matični) materijal boksita različit.



Sl. 14. Profil boksitnog ležišta kod Drniša. 1 prominske naslage, 2 boksit, 3 foraminiferni vapnenac, 4 bušotine



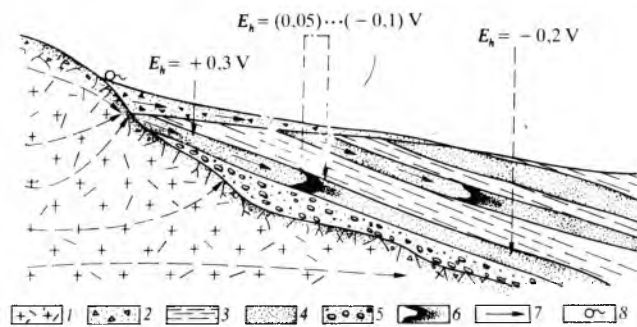
Sl. 15. Profil boksitnog ležišta u Istri. 1 kvartar, 2 eocenski vapnenac, 3 žuti boksit, 4 crveni boksit, 5 kredni vapnenac, 6 bušotine

Krških boksita ima u mediteranskim zemljama (Francuska, Jugoslavija, Grčka i Turska), te u Mađarskoj, gdje su oni mezozojske i tercijarne starosti, zatim u SSSR (paleozojske i mezozojske starosti), a najmlađa i najveća su ležišta na

Jamajci. Po mineralnom sastavu i starosti najraznovrsniji su naši boksiti, koji se nalaze u osam stratigrafskih horizonata.

Pri površinskom raspadanju ultrabazičnih stijena u tropškim uvjetima ne nastaju alumohidroksidni minerali, nego se formiraju lateritne željezne rude koje sadrže 30·50% željeza, 0,5·2,0% nikla i 1·3% kroma. Dimenzije takvih ležišta mogu biti veoma velike, ali je njihova ruda često neupotrebljiva zbog teškoća preradbe, uvjetovanih nepovoljnim udjelima kroma i nikla.

Ležišta urana. Izluživanjem urana iz postojećih ležišta ili uranonosnih stijena, njegovim prenošenjem i ponovnim taloženjem u okolnim stijenama nastaju infiltracijska ležišta urana. Višekratnim ponavljanjem tih procesa nastaju ekonomski važne koncentracije toga metala. Rudna su tijela oblika srpa, lečasta ili nepravilna, a udio urana u njima veoma je promjenljiv; ekonomski zanimljiva rudna tijela sadrže prosječno 0,15·0,25% U_3O_8 . Infiltracijska ležišta urana su česta, a njihovo je ekonomsko značenje veliko, jer znatan dio proizvodnje urana potječe iz takvih ležišta (sl. 16).



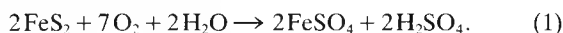
Sl. 16. Shema lokalizacije rudnih koncentracija urana u seriji sedimentnih stijena. 1 graniti, 2 deluvijalne tvorevine, 3 glinovite, vodonepropusne stijene, 4 vodopropusni pješčenjaci, 5 konglomerati, 6 rudna tijela, 7 smjer kretanja vode, 8 izvori; E_k redoks-potencijal između oksidacijske i redukcijske sredine

Površinskim trošenjem rudnih ležišta, naročito sulfida i urana, nastaju raznovrsne promjene u površinskim dijelovima. Te promjene imaju i ekonomsko značenje, jer mogu prouzrokovati osiromašenje ležišta, ali i obogaćenje, tako da neka ležišta imaju ekonomsku vrijednost samo u zonama obogaćenja.

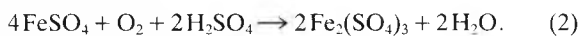
Procesi izmjene rudnih ležišta u egzogenim uvjetima mogu biti oksidacijski i redukcijski.

Procesi oksidacije odvijaju se u *zoni oksidacije* iznad razine podzemne vode. Dubina i veličina oksidacijske zone zavise od klime, brzine erozije, mineralnog i kemijskog sastava rude i okolnih stijena, te njihove poroznosti. Pri oksidaciji primarnih sulfidnih minerala nastaje sumporna kiselina koja razara rudu i okolne stijene. Ponašanje oslobodjenih metala iz primarnih minerala ovisi o njihovim geokemijskim karakteristikama, u prvom redu o ionskom potencijalu. Budući da se većina rudnih metala u oksidacijskim uvjetima nalazi u topivim spojevima, pretežno sulfatima, oni se s vodom odvođaju iz oksidacijske zone, pa ona osiromašuje. Od rudnih metala ostaje samo željezo koje stvara netopivi hidroksid (limonit), pa se zato površinski dijelovi izluženih sulfidnih rudnih tijela nazivaju *željezni šeširi*, koji su zbog svoje uočljive smeđe boje dobar putokaz za otkrivanje ležišta.

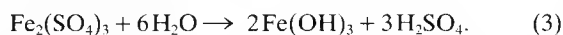
Proces oksidacije može se prikazati na primjeru pirita koji je najčešći mineral sulfidnih ležišta



U prisutnosti kisika željezo(II)-sulfat je nestabilan te prelazi u željezo(III)-sulfat



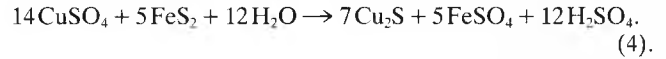
Budući da je željezo(III)-sulfat nestabilan u neutralnim i slabokiselim otopinama, nastat će hidroliza



Slične su reakcije i pri oksidaciji sulfida drugih metala, s tom

razlikom što su njihovi sulfati pretežno topivi te se ne zadržavaju u zoni oksidacije.

Cementacijska zona nalazi se ispod oksidacijske i ispod razine podzemne vode. U tu zonu dospijevaju sulfati metala iz oksidacijske zone, a kako su u toj zoni reduktivni uvjeti, nastaju sekundarni sulfidi metala, tj. primarne se rudne parageneze obogaćuju (v. sl. 7). Ti su procesi često praćeni potiskivanjem primarnih, manje vrijednih sulfida, što se može prikazati na primjeru nastanka halkozina na račun pirita:



Debljina zone sa sekundarnim sulfidima varira od nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. Najveća koncentracija bakra (halkozina) u najvišim je dijelovima zone; s dubinom udio bakra postepeno opada.

Sedimentna ležišta nastaju od produkata površinskog trošenja (raspadanja) stijena i ležišta. Produkti raspadanja prenose se na veće udaljenosti, i to uglavnom površinskim vodama, a veoma rijetko vjetrom ili glečerima. Rudne komponente iz zona raspadanja ili iz zona mehanički dezintegriranih stijena prenose se u obliku ionskih otopina, koloida, finodispergiranih suspenzija ili zrna. Deponiranjem tih komponenata u vodi ili na kopnu nastaju rudišta.

Ležišta mehaničkih sedimenata (nanosna ležišta) nastaju razaranjem stijena i ležišta koja sadrže primjese korisnih minerala koji se kasnijim procesima mogu mehanički koncentrirati (v. *Aluvijalna rudna nalazišta*, TE 1, str. 247).

Mehaničke koncentracije mogu formirati minerali koji su otporni na fizička raspadanja i kemijska razlaganja u oksidacijskoj zoni, a imaju veću gustoću. Ti se minerali separiraju i koncentriraju mehaničkim djelovanjem vode u potocima i rijekama, a povećane koncentracije nastaju na mjestima gdje voda naglo mijenja brzinu kretanja. Ta se ležišta nazivaju aluvijalnim, za razliku od obalnih marinskih nanosa koji se separiraju i koncentriraju djelovanjem morskih valova.

Među nanosnim ležištima najpoznatija su ležišta zlata, zatim ležišta ilmenita, magnetita, rutila, cirkona, monacita i granata, dok su ležišta dijamanata, platine i dragog kamenja rjeđa. Toj grupi pripadaju i ležišta kremenog pijeska.

Kemogena sedimentna ležišta nastaju izdvajanjem rudnih minerala iz ionskih i koloidnih otopina te taloženjem finodispergiranih čestica koje u procesu dijageneze doživljavaju veće promjene. Ležišta su slojnoj i lečastog oblika, s jasno istaknutom podinom i krovinom. Često su velikih dimenzija i zato od posebne ekonomske važnosti.

Prema mjestu nastanka, kemogena sedimentna ležišta mogu biti močvarna, jezerska i marinska. Važnija su ležišta tog tipa ležišta željezne, manganske i bakrene rude, te ležišta glina i soli.

Sedimentna ležišta *željezne rude* nastaju u kontinentalnim i morskim sredinama, a ekonomski su važna samo marinska ležišta. Željezo može dospjeti u more površinskim vodama s kopna ili djelovanjem submarinskog vulkanizma. Željezo oslobođeno iz raspadnutih stijena prenosi se vodama kao finodispergirani mulj, a dijelom kao ionske i koloidne otopine. U obalnom području, gdje je more bogato kisikom, nastaju oksidne rude željeza, a u dubljim dijelovima mora talože se karbonatne i silikatne željezne rude. U zatvorenim bazenima sa stagnantnom vodom i uz prisutnost organske materije djelovanjem bakterija nastaje sumporovodik koji reagira sa željezom taložeći ga kao sulfid. Sedimentne rude često imaju mali udio željeza (25·40%) povišen udio mangana i fosfora, a struktura im je oolitna. U važna ležišta tog tipa spadaju ležišta Lotaringije koja se nalaze na površini od 1100 km² u Francuskoj i dijelom u Luksemburgu i Belgiji. Rudonosna serija sastoji se od rudnih slojeva debelih 1·6 m, koji se izmjenjuju s jalovim prosljocima. Rudne rezerve tog područja iznose ~15 milijardi tona. Tom tipu pripadaju i ležišta silikatne željezne rude zapadne Makedonije (Tajmište, Demir-Hisar i dr.).

Ležišta *manganove rude* nastaju na sličan način kao sedimentne rude željeza. Mangan se oslobađa kemijskim

raspadanjem stijena i dospijeva u vodene bazene gdje se taloži, u ovisnosti o redoks-potencijalu sredine, kao oksidna ili karbonatna ruda. Sedimentnim ležištima mangana pripadaju najveća svjetska ležišta toga metala Čijatura i Nikopolj u SSSR.

Stratiformna su ležišta bakra rijetka, ali se ubrajaju u najveća ležišta bakra na svijetu. Bakar se koncentrirao u plitkom moru u blizini obale, u specifičnoj anaerobnoj sredini uz prisutnost organske materije. Ležišta se nalaze u određenim stratigrafskim horizontima, kao npr. u permskim sedimentima srednje Evrope, gdje se na prostoru dugom blizu 3000 km i širokom 300 km nalazi više ležišta s ukupno oko 160 milijuna tona bakra. Rudonosni su slojevi debeli prosječno 2 m i sadrže i do 2% bakra. Najveća ležišta su Lublin (Poljska) i Mansfeld (Njemačka DR). Tom tipu pripadaju i ležišta Katange i Zambije, gdje se više rudišta nalazi u zoni dugoj 400 km.

Sedimentna ležišta glina nastala su od materijala površinskog raspadanja stijena koji vode mehanički prenose. Pri utoku u vodene bazene, najčešće jezera, brzina vode postepeno se smanjuje, tako da se iz nje prvo talože krupnije čestice (pijesci), a zatim, pri vrlo malim brzinama vode, najsitnije, glinovite čestice. Tako se, klasiranjem po veličini, formiraju ležišta pijeska, odnosno glina. Mineralni sastav glina varira; pored minerala glina (kaolinita, ilita, montmorilonita i dr.) nalaze se i zrna kremenca, feldspata i oksida željeza, a o tom sastavu ovisi upotrebljivost glina (opekarska, vatrostalna, keramička glina).

Ležišta soli nastaju u uvjetima tople aridne klime u obalnim morskim bazenima koji su od otvorenog mora djelomično odvojeni barijerom. Zbog visoke temperature voda se isparuje pa koncentracija otopljenih soli u vodi raste. Isparivanjem vode snižava se razina vode u bazenu pa preko barijere u bazen utječe morska voda, te se tako nose nove količine otopljenih soli. Kada se dostigne stupanj zasićenja pojedinih vrsta soli, one se talože i kristaliziraju. Najprije se kristalizira gips, zatim anhidrit, pa halit (kuhinjska ili kamena sol), i na kraju kalijske i magnezijske soli. Opisani ciklus nastajanja ležišta soli rijetko se odvija od kraja, pa su zato ležišta gipsa mnogo češća od ležišta halita, dok su ležišta kalijskih i magnezijskih soli rijetka. Debljina kamene soli u ležištima može iznositi više stotina metara, što je i rezultat naknadnih tektonskih kretanja, kojima su soli zbog svoje plastičnosti podložne. Velika ležišta soli nalaze se u Njemačkoj, SSSR, SAD, Kanadi. U našoj zemlji tome tipu ležišta pripada Tušanj kod Tuzle.

Biogena ležišta. Od biogenih ležišta ovdje su opisana samo ležišta fosforita, a ležišta kaustobiolita (ugljen, nafta, uljni škriljavci, prirodni plin) prikazana su u drugim člancima (v. Ugljen; v. Nafta, TE 9, str. 190; v. Prirodni plin).

Ležišta fosforita nastaju djelovanjem organizama koji upotrebljavaju fosfor iz mora za obavljanje svojih životnih funkcija. Izumiranjem, takvi organizmi dospijevaju u dublje dijelove mora gdje fosfor ponovno prelazi u otopinu, pa se tako njegova količina u tom dijelu mora znatno povećava. Kada te vode morskim strujama dospiju u pliće dijelove, opadanjem parcijalnog tlaka ugljik(IV)-oksida smanjuje se topivost fosfora i obara se fosforit. Tako su nastala ležišta sa slojevima debljine 10·15 m, duga više kilometara. Najveća ležišta fosforita nalaze se u zemljama sjeverne Afrike.

Metamorfogena rudna ležišta

Ta su ležišta nastala djelovanjem metamorfnih procesa koji se pretežno odvijaju u dubljim dijelovima Zemljine kore pod utjecajem visokih temperatura, često uz povišene tlakove i uz sudjelovanje mineralizatora kao što su voda, ugljik(IV)-oksid i drugi lakohlapljivi spojevi. Za vrijeme metamorfizma, stijene i drugi mineralni agregati uglavnom ostaju u čvrstom stanju. Promjenom tlaka i temperature poremećuje se fizička i kemijska stabilnost minerala nastalih pod drugim uvjetima, pa sustav nastoji uspostaviti ravnotežu koja odgovara novim uvjetima. Zato se sastojci stijena mijenjaju u minerale koji su stabilni u tim novim uvjetima. Prema tome, metamorfizam

je proces parcijalne ili kompletne rekristalizacije i stvaranja novih petrogenih i rudnih minerala i struktura.

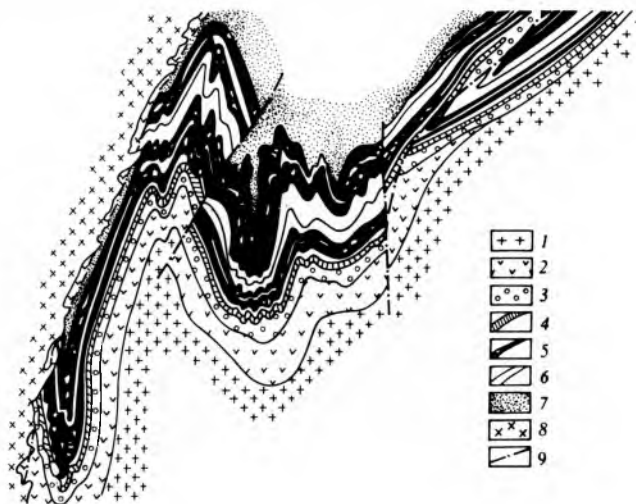
Uzroci promjene tlaka i temperature mogu biti različiti. Najznačajnijim su promjenama stijene izložene kada zbog pokreta kontinentalnih ploča dospijevaju u dublje dijelove Zemljine kore. Nadalje, probijem magme u Zemljinu koru okolne stijene dolaze pod utjecaj povišene temperature. Sve takve promjene uzrokuju metamorfizam stijena, a stupanj i vrsta metamorfizma ovisi o intenzitetu i vrsti tih promjena.

Metamorfogena ležišta mogu biti metamorfozirana i metamorfna.

Metamorfozirana ležišta nastala su djelovanjem metamorfnih procesa na ležišta endogenog i egzogenog porijekla. Uzroci metamorfizma mogu biti regionalni (regionalno metamorfozirana ležišta) ili djelovanje magmi (kontaktno-metamorfozirana ležišta).

Od regionalno metamorfoziranih ležišta značajnija su ležišta ruda željeza, mangana, olova i cinka, zlata i urana, te grafit.

Ležišta željezne rude toga tipa nalaze se u metamorfoziranim prekambrijskim kompleksima, a nastala su metamorfom primarnih egzogenih marinskih ležišta. Ležišta su vezana za debele serije željezovitih kvarcita izgrađenih od tankih proslojaka (0,1·20 mm) rudnih minerala (magnetita i hematita) i kremenca. Udio željeza u željezovitim kvarcitima iznosi od 20·40%. Naknadnim izluživanjem kremenca, najčešće površinskim trošenjem željezovitih kvarcita u tropskim uvjetima, ili djelovanjem hidrotermalnih otopina, udio se željeza povećava na 50·70%, i samo se tako obogaćeni dijelovi eksploatiraju. Rudna su tijela slojevita ili lećasta, debljina im je od nekoliko metara do nekoliko desetaka metara, a mjestimice i više od 100 m. Neka se ležišta protežu, s prekidima, na duljini od više desetaka kilometara, a rezerve im mogu iznositi više milijardi tona rude. Ta su ležišta ekonomski najvažnija ležišta željezne rude, jer daju oko 60% svjetske proizvodnje, a čine i najveći dio svjetskih rezervi. Ležišta se nalaze u Brazilu, Venezueli, Australiji, SAD, SSSR (sl. 17) i u nekim afričkim zemljama.



Sl. 17. Profil rudišta željezne rude Krivoj Rog (SSSR). 1 plagiograniti, 2 amfiboliti, 3 konglomerati, 4 talk-karbonatni horizont, 5 rudonosni horizont, 6 škriljavci, 7 krovinska serija, 8 graniti, 9 rasjedi

Ležišta manganske rude nastala su metamorfom marinskih sedimentnih ležišta, pri čemu od primarnih rudnih minerala bogatih vodom nastaju minerali bez vode. Ruda se često sastoji od naizmjeničnih proslojaka rudnih minerala i kvarcita. Rudna su tijela pretežno slojevita i velikih dimenzija, s prosječnim udjelom mangana od 30·40%, a rezerve iznose više desetaka milijuna tona rude. U površinskim dijelovima rudišta nastaju supergene alteracije i ekonomski vrlo važna obogaćenja. Veća ležišta toga tipa nalaze se u Indiji, Gani i u Brazilu.

Ležišta olovne i cinkove rude. Jedno od najvećih ležišta olovne i cinkove rude, Broken Hill u Australiji, svoje je sadašnje značajke dobilo regionalnom metamorfozom primarnog ležišta, vjerojatno sedimentnog porijekla. Djelovanje metamorfizma očituje se u izmjeni mineralnog sastava ležišta, pa su nove mineralne parageneze veoma bogate različitim rudnim mineralima.

Ležišta zlatonosno-uranonosnih konglomerata, od kojih su najpoznatiji u Witwatersrandu u Južnoafričkoj Republici, sadrže najveće rezerve zlata na svijetu. Ležišta daju blizu 900 t zlata godišnje, što je više od polovine svjetske proizvodnje. Unutar serije konglomerata, debele ~3 km, nalaze se pojedinačni slojevi zlatonosnih konglomerata debelih 0,3·3 m. Rudonosni su slojevi dugi više desetaka kilometara, a u dubinu su praćeni rudarskim radovima do ~3500 m. Srednji je sadržaj zlata 6,4 g/t, a urana 300 g/t. Ležište je vjerojatno primarno-sedimentnog porijekla, a zlato i minerali urana dospjeli su u konglomerat kao nanosni minerali. Kasniji metamorfni procesi prouzročili su određeno premještanje zlata i urana i stvaranje novih mineralnih parageneza. Postoje i mišljenja da su ta ležišta hidrotermalnog porijekla.

Ležišta grafita produkti su regionalne metamorfoze niskog stupnja ležišta ugljena. Grafit iz tih ležišta pripada amorfnom varijetetu s velikim udjelom grafita u rudi (40·80%). Ležišta su slojnoj i lećastog oblika, a rudne rezerve mogu iznositi više desetaka milijuna tona. Ležišta tog tipa nalaze se u SSSR, Koreji i u Australiji. I pojave grafita na Psunju i Papuku pripadaju tom tipu ležišta.

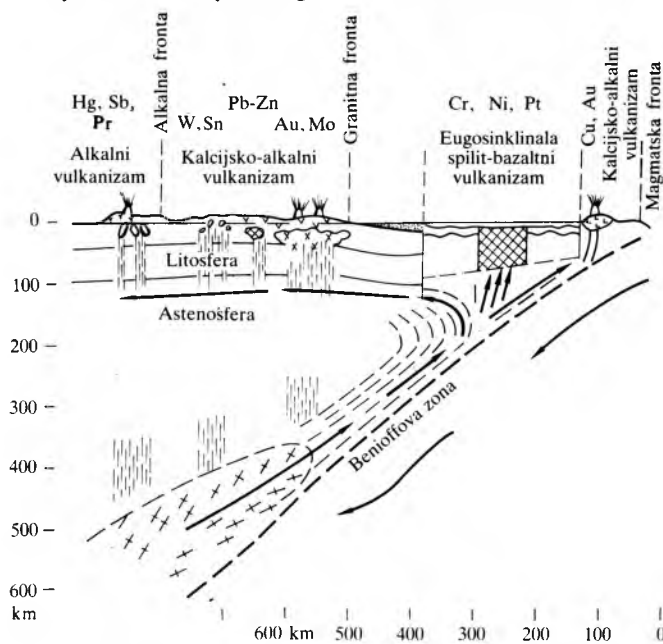
Kontaktno metamorfizirana ležišta nastaju u oreolima intruzija magmatskih stijena termičkim djelovanjem magme na ležišta ili na stijene. Ležišta su tog tipa rijetka.

Metamorfna ležišta nastaju kada se u procesima metamorfizma i pregrupiranja mineralne materije koncentriraju korisni minerali. To su neka ležišta azbesta, grafita, granata, distena i mramora.

Ležišta grafita nastaju jakom metamorfozom sedimentnih stijena koje su sadržavale organsku materiju. Takva je materija bila izvor ugljika od kojega je, metamorfizmom, nastao grafit.

METALOGENETSKE PROVINCIJE I EPOHE

Rudna ležišta nisu jednoliko raspoređena u Zemljinoj kori i nisu nastala u isto vrijeme. U pojedinim područjima bili su u određenim geološkim epohama povoljniji uvjeti za koncentraciju ruda. Postoji uska genetska i vremenska veza između



Sl. 18. Veza magmatizma i rudnih ležišta u zapadnom dijelu tihooceanskog pojasa. Pr prijelazni elementi

tektonskih pokreta, magmatizma i nastajanja rudnih ležišta. Pojedine vrste magmatskih stijena nastaju u određenom vremenu i na određenom prostoru za vrijeme tektonskog razvoja nekog područja. A budući da su endogena rudišta često u genetskoj vezi s određenim vrstama magmatskih stijena, različiti genetski tipovi rudišta nalazit će se u određenim prostorima u pojedinim vrstama magmatskih stijena ili blizu njih. Tako se ležišta kromita, platine i dijamanata nalaze u ultrabazičnim stijenama, a skarnovska, grajzenska i mnoga hidrotermalna ležišta u blizini su kiselih i neutralnih magmatskih stijena. Nastajanje egzogenih ležišta također je u vezi s tektonskim pokretima. Reliktne ležišta, npr. boksiti, nastaju za vrijeme tektonskog mirovanja, kada na kopnu prevladavaju kemogeni procesi trošenja stijena, a ležišta mehaničkih sedimentata pretežno se formiraju za vrijeme jače tektonske aktivnosti.

Genetska veza između tektonike, magmatizma i rudnih ležišta može se prikazati na primjeru zapadnog dijela tihooceanskog pojasa, gdje se ta veza može objasniti teorijom tektonike ploča (sl. 18).

U području podvlačenja oceanske kore pod kontinentalnu ploču nastaju zone s različitim magmatskim stijenama i rudištima. U najvišem je dijelu Benioffove zone eugosinklinalna zona s vulkanskim i plutonskim stijenama bazaltoidne magme praćene vulkansko-sedimentnim ležištima i magmatskim ležištima kroma, nikla i platine. Dalje prema kontinentalnoj ploči slijedi zona pozadinskog pregiba sa slabim pojavama magmatizma i orudnjenja. Iza toga je zona granitoida s plutonskim i vulkanskim stijenama granitoidne magme i ležištima kositra, volframa, molibdena, zlata, olova i cinka. Zatim slijedi zona alkalnih plutonskih i vulkanskih stijena s ležištima rijetkih metala i na kraju zona s niskotemperaturnim ležištima ruda arsena, antimona i žive. Te zone, odnosno rudišta, ne nastaju istodobno nego kroz duži vremenski period ili u više vremenskih ciklusa.

Područje koje obuhvaća velike geotektonske jedinice s rudištima različitih genetskih tipova nastalih u više vremenskih ciklusa naziva se metalogenetskim provincijama. Unutar takvih provincija mogu se izdvojiti metalogenetske zone i rajoni koji imaju uža prostorna i vremenska obilježja.

Kao primjer metalogenetskih provincija i zona može se spomenuti bakronosni pojas u Arizoni dug 150 km, srebronosni pojas Sjeverne i Južne Amerike dug 3000 km, kromitno-platinonosni pojas u južnoj Africi dug 500 km.

Na području Jugoslavije razvijene su četiri metalogenetske provincije: dinarsko-helenidska, srpsko-makedonska, karpatko-balkanska i alpska (sl. 19).



Sl. 19. Metalogenetske provincije Jugoslavije. A alpska metalogenetska provincija, B panonski bazen, C dinarsko-helenidska metalogenetska provincija, D srpsko-makedonska metalogenetska provincija, E karpatko-balkanska metalogenetska provincija

Dinarsko-helenidska metalogenetska provincija zauzima najveći, jugozapadni dio Jugoslavije. Glavna su obilježja te provincije ležišta boksita koja su različite starosti; najstarija

su ležišta trijaskе, а najmlаdа neogenske starosti. Od ekonomske su važnosti jurski boksiti Crne Gore, kredni boksiti Bosne, donjopaleogenski boksiti Istre i Hercegovine i eocenski boksiti Dalmacije i Hercegovine. Od drugih značajnijih ležišta treba spomenuti ležište žive u Idriji, ležište urana Žirovski vrh u Sloveniji, ležišta željezne rude Ljubija i Vareš u Bosni te Tajmište u Makedoniji, ležišta barita u Hrvatskoj i Bosni, te mnoge manje pojave rude olova, cinka, antimona i bakra u centralnoj Bosni.

Srpsko-makedonska metalogenetska provincija proteže se preko zapadne i centralne Srbije, istočnog Kosova i istočne Makedonije. Ta se provincija odlikuje mnogobrojnim ležištima olova i cinka, među kojima su i našа najveća ležišta Trepča i Zletovo, zatim ležišta antimonove rude (Zajača, Lisa, Lojane i Alšar) i molibdenove rude (Mačkatica).

Karpatско-balkanskoj metalogenetskoj provinciji pripada istočni dio Srbije. U toj provinciji pretežno su ležišta bakrene rude, а među njima su i velika rudišta Bor i Majdanpek.

Alpska metalogenetska provincija samo malo zahvaća područje Jugoslavije, i to u krajnjem sjevernom dijelu Slovenije. U toj provinciji nalazi se više važnih ležišta olovo-cinkove rude, od kojih je u Jugoslaviji ležište Mežica.

LIT.: H. Schneiderhöhn, Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. Gustav Fischer, Jena 1941. – S. Janković, Metalogenetske epohe i rudonosna područja Jugoslavije. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 1967. – В. И. Смирнов, Геология полезных ископаемых. Недрa, Москва 1969. – S. Janković, Ležišta mineralnih sirovina – geneza rudnih ležišta. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 1981.

B. Šinkovec