

REFERÁT

Vztah zrudnění k magmatismu a tektonice

(3 obr., 1 tab. v textu)

LIBUŠE ČEŠKOVÁ

Certains problèmes concernant l'étude des champs géochimiques secondaires, lors de la métallographie de l'éluvion

L'étude des champs géochimiques secondaires (le sol ainsi que la végétation et leur rapport aux champs primaires dans le voisinage des gisements de minerai de sidérite-sulfuré complexes dans les roches cristallines, de minerai d'antimoine dans les granitoïdes et de minerai de plomb-zinc dans les roches carboniques du Mésozoïque, avait montré, en accord avec les données de la littérature, l'influence différenciée des procédés de la hypergenèse sur la structure du champs géochimique (la distribution de la teneur en éléments et la corrélation entre eux), ce qui peut conduire au rétrécissement de la sphère des éléments qui conviennent à la prospection géochimique. Les complications s'accroissent proportionnellement au nombre des sphères de la migration (sol-végétation). Ces faits doivent être mis au jour dans l'étape expérimentale de la prospection géochimique et pris en considération lors de son application en masse.

Přibližně od 30 let našeho století se začaly v názorech na vznik hydrotermálních rudních ložisek odrážet vlivy rychlého rozvoje geologických vědních disciplín. Ve větší míře se při studiu rudních ložisek uplatňují metody fyzikálně-chemické, geochemické, metody výzkumu izotopického složení některých prvků a metody experimentální. Četné práce sledují závislost vzniku ložisek na jednotlivých fázích vývoje geosynklinály a jejího magmatismu, na procesech granitace a asimilace, na hlubinné tektonice a na různých stupních metamorfózy. Nový pohled na genesi rudních ložisek a na metalogenesi skýtá bloková tektonika a nová koncepce vývoje zemské kůry — globální tektonika (plate tectonics). Stále častěji se objevují názory na polygenní původ hydrotermálních ložisek, zejména ložisek stratiformního typu.

Podle současného stavu znalostí lze představy o zdroji rudního materiálu hydrotermálních ložisek rozdělit do několika skupin. V tomto příspěvku jsou shrnuty názory na vztah rudních ložisek k magmatismu a tektonice.

Představy o genetické závislosti hydrotermálních rudních ložisek na magmatických procesech

Přínos experimentální petrologie

Názory „magmatistů“, spatřující zdroj kovů hydrotermálních rudních ložisek ve vyvřelých horninách a jejich magmatech, byly ve 30 letech našeho století značně ovlivněny řadou experimentálních petrologických prací. V západoevropské geologické škole je zřejmý vliv P. NIGGLIHO v Sovětském svazu ZAVARICKÉHO (1926). Představy amerických ložiskových geologů vycházejí ze studií Bowena a Fennera, věnovaných převážně studiu rovnovážných stavů v „suchých“, křemičitanových taveninách. Podobně jako NIGGLI (1929) v Evropě, uvažovali oba američtí petrologové též taveniny s tekavými složkami. BOWEN (1928) a FENER (1933) přinesli argumenty proti obecné platnosti injekční hypotézy, vznik rudního magmatu považují za jev zcela ojedinělý.

NIGGLI (1929) aplikoval své úvahy teoretické i práce experimentální na procesy vzniku rudních ložisek, které geneticky odvozoval od magmatu. Při tuhutí magmatu v podmínkách vysokého tlaku (hloubka 2000 m a více) mohou vznikat rudy ve třech stádiích. V prvním, typicky plutonickém, označeném Niggliem jako stadium ortomagmatické, vzniká typická asociace vyvřelých hornin se specifickými ložisky (diamantů, Pt, Cr, Fe, Ti, Ni, Cu). V dalších dvou stádiích probíhá krystalisace ze zbytkové taveniny složené z velké části z těkavých složek — hlavně vody a prvků, které nevstupují do krystalové mřížky křemičitanů. Stadium druhé, pegmatitové až pneumatolytické, tvoří plynulý přechod od stadia ortomagmatického k hydrotermálnímu. Ve třetím stadiu, hydrotermálním, je tvorba rud spojena s krystalisací ze zbytkového roztoku, obsahujícího vysoký podíl těkavých složek. Poslední dvě stadia produkují většinu rudních ložisek. Niggliho práce teoretické a pozoruhodné výsledky experimentální (NIGGLI, MOREY 1913) měly značný vliv zejména na evropskou školu rudní geologie.

V Americe se FENNER (1933) podrobně zabýval pneumatolytickými procesy a vymezením samého pojmu. Uvedl v pochybnost Niggliho pojetí pneumatolytického stadia jako intervalu, během něhož je zbytkový roztok v pokročilém stadiu krystalisace magmatu nad svou kritickou teplotou. Fenner usoudil, že oddělování plynů začíná ihned po intruzi plutonického magmatu a pokračuje dále při krystalisaci. Plyné emance jsou nejdůležitějšími činiteli primární separace minerálů z magmatu a jejich přemísťování do okolních hornin. Plynům přikládal i schopnost působit významné metamorfni a matasomatické procesy v samé vyvřelé hornině i v kontaktní zóně a vyvolávat rekrystalisaci. V této souvislosti je nutno uvést výsledky některých současných autorů (ŠTEPROKA 1963, INGERSONA 1965), kteří naopak zdůvodňují neúčelnost vydělování skupiny pneumatolytických ložisek v klasifikacích vzhledem k tomu, že pneumatolytické stadium nelze jako samostatné odlišit a že mnohé jevy považované dříve za výsledky působení plynů mohou vznikat při hydrotermálních procesech. Ingerson navrhl omezit termín „pneumatolýza“, a „pneumatolytický“, jen na jejich původní význam, tj. na rozklad pomocí plynů (pyrolýza, elektrolyza a.).

Rozvoj analytických metod umožnil stanovení stopových prvků v různých horninových typech a využití těchto dat pro metalogenetické účely. Řada úvah vycházela z Goldschmidtových zákonů (GOLDSCHMIDT 1933, 1954) založených na představě, že vyvřelé horniny se tvořily postupnou krystalisační diferenciací bazaltického magmatu. Podle výzkumu Turekiana a Higazy (KRAUSKOPF 1967) lze však tentýž charakter rozmištnění prvků očekávat i v případě vzniku vyvřelých hornin v důsledku pomalého prohřívání materiálu zemské kůry. Kvantitativní zhodnocení výskytu obyčejných kovů rudních ložisek v hlavních typech vyvřelých hornin je dáno v pracích Turekiana—Wedepohla a Vinogradova. Výsledky autorů jsou Krauskopffem shrnuty v přehledné tabulce (tab. 1.) z níž vyplývá, že v ultrabazických a bazických horninách je obsah některých kovů (Pt, Cr, Ni—Cu—Co v ultrabazických a Fe, Ti, Cu a V v bazických) nápadně zvýšen ve srovnání s kyselejšími vyvřelými horninami. Velké koncentrace rud zjištěné v některých intruzích ultrabazického a bazického složení jsou obvykle spjaty s procesy segregace a likvace v primárním magmatu, zatímco hydrotermální činnost je slabá. Wells (in KRAUSKOPF 1967) vidí příčinu v malém množství vody v primárním bazaltickém magmatu. Magma takového složení by mohlo produkovat hydrotermální fluida pouze v případě asimilace kyselejší horniny, obsahující vodu. KADIK et al. (1971) došli na základě termodynamických a experimentálních studií rozpustnosti vody v magmatických taveninách k závěru, že v tlakových podmínkách zemské kůry a svrchního pláště se může magma různého složení (od kyselého do ultrabazického) stát kolektorem vody, již může obsahovat do 20—30 váhových procent. U magmatických těles značných rozměrů předpokládají možnost přenosu vody ze spodních částí taveniny, kde je voda při asimilaci okolních hornin pohlcována, do svrchních partií, kde se tavenina difúzním „tokem“, vody opět zbavuje. KRAUSKOPF (1967) považuje v soulase s dalšími autory materiál většiny balzátů za juvenilní v tom smyslu, že se nikdy dříve nenacházel v blízkosti zemského povrchu. Platí to i pro dolerity a gabra, deriváty podkorového materiálu utuhlého již v zemské kůře.

Ocenit kyselé a intermediární horniny jako zdroj rudních složek je úkol mnohem složitější a zdaleka ještě neřešený. Souvisí úzce s celkovým problémem vzniku těchto hornin. Někteří autoři uznávají potenciální rudonosnost jakéhokoli granitického magmatu a předpokládají, že magma získává rudní a těkavé složky asimilací okolních hornin (ABDULAEV, KROPOTKIN—in BILIBIN 1955 OVČINIKOV 1967 aj.). BORCHERT (1967), V. I. SMIRNOV (1968) aj. přikládají granitoidům palinogenní původ z hornin spodních částí zemského sedimentárního obalu. Také podle KRAUSKOPFA

Tab. 1

	TW	V	TW	V	TW	V	TW	V	TW
Li	0.X	0.5	17	15	24	20	40	40	28
Be	0.X	0.2	1	0.4	2	1.8	3	5.5	1
Ti	300	300	13800	9000	3400	8000	2300	2300	3500
V	40	40	250	200	88	100	44	40	30
Cr	1600	2000	170	200	22	50	4.1	25	2
Mn	1620	1500	1500	2000	540	1200	390	600	850
Co	150	200	48	45	7	10	1	5	1
Ni	2000	2000	130	160	15	55	4.5	8	4
Cu	10	20	87	100	30	35	10	20	5
Zn	50	30	105	130	60	72	39	60	130
As	1	0.5	2	2	1.9	2.4	1.5	1.5	1.4
Se	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Zr	45	30	140	100	100	140	260	200	500
Nb	16	1	19	20	20	20	21	20	35
Mo	0.3	0.2	1.5	1.4	1.0	0.9	1.3	1	0.6
Ag	0.06	0.05	0.11	0.1	0.05	0.07	0.04	0.05	0.0X
Cd	0.X	0.05	0.22	0.19	0.13		0.13	0.1	0.13
Sn	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5		3	3	X
Sb	0.1	0.1	0.2	1	0.2	0.2	0.2	0.26	0.X
Ce	0.X		48	4.5	81	92	100	100	161
Ta	1.0	0.02	1.1	0.5	3.6	0.7	4.2	3.5	2.
W	0.77	0.1	1	1.3	1	2.2	1.5	1.5	1.3
Au	0.006	0.005	0.004	0.004	0.04		0.004	0.005	0.0X
Hg	0.0X	0.01	0.09	0.09	0.08		0.08	0.08	0.0X
Tl	0.06	0.01	0.21	0.2	0.72	0.05	2.3	1.5	1.4
Pb	1	0.1	6	8	15	15	19	20	12
Bi		0.001	0.007	0.007		0.01	0.01	0.01	
Th	0.004	0.005	4	3	8.5	7	17	18	13
U	0.001	0.003	1	0.5	3.0	1.8	3.0	3.5	3.0
S	300	100	300	300	300	200	300	400	300

Obsahy obvyklých kovů rudních ložisek ve vyvřelých horninách (KRAUSKOPF 1967). TW — údaje Turekiana a Wedepohla, V — údaje Vinogradova. Granodiority jsou TW zahrnuty do intermediárních hornin, V do granitických. Obsahy jsou uvedeny v %.

(1967) tvořil původní materiál granitoidních hornin již dříve součást zemské kůry a strukturní zvláštnosti, vlastní vyvřelým horninám získal v důsledku ultrametamorfózy (v pojetí HOLMÓUISTOVÉ—in MEHNERT 1968 — jde o vysoký stupeň metamorfózy s částečným nebo úplným překrystalováním, popř. počátečním natavením kůry) nebo úplného roztavení. Rudonosnost je tedy závislá na výchozím materiálu.

Jak vyplývá z tabulky 1, není koncentrace kovů v uvedených horninách velká, Krauskopf ji však považuje za dostačující i pro vznik velkých ložisek vezememe-li v úvahu značné rozměry intruzí. Uvádí např., že k nahromadění 1 mil. tun kovu v rudním tělese (pro Cu-Pb-Zn-rudy jsou to ložiska velkých rozměrů) je zapotřebí bloku žuly o objemu 100 km³ za předpokladu, že jsou vyneseny pouze 3 g/t kovu, rozptýleného ve vyvřelině. Ložisko Mo nebo W o velikosti 10 000 t kovu může vzniknout ze stejného objemu při výnosu 0,03 g/t. Z tabulky 1 je zřejmé, že průměrné obsahy těchto prvků jsou mnohem vyšší. Na základě těchto úvah považuje autor vyvřelé horniny a jejich magmata za jeden z možných zdrojů kovů rudních ložisek.

Probíhající diskusi o genetické, případně paragenetické souvislosti zrudnění s některými kyselými intermediárními vyvřelými horninami lze shrnout do několika hlavních bodů:

Vztah ložisek k intruzím

a) U některých typů ložisek je sepětí s horninami určitého chemismu příznačné (rudy Sn, W, Mo aj.). Rudní akumulace bývají rozmístěny přednostně v blízkosti kontaktů intruze, k níž mají genetický vztah. Existují námitky, že může jít pouze o zvýšenou prostupnost kontaktní zóny pro hydrotermální fluida vystupující z hloubky.

b) V literatuře jsou uváděny asociace některých kovů s určitými varietami kyselých hornin. Koncentrace těžkých kovů v kyselých nebo intermediárních horninách jsou si podobné a jen u některých sledujeme nevýrazné zvyšování směrem k žulovým horninám (např. Sn a W). Řada autorů se zabývá stanovením petrometalogenetických řad intruzí a rudních ložisek (ABDULAEV 1960, ROUTHIER 1963, a příkladu čs. části Českého masívu SATTRAN a KLOMÍNSKÝ 1970 aj.).

Nejenom zvýšená, ale i snížená koncentrace kovů v dané intruzi může být důkazem, že intruze mohla být zdrojem rudní mineralisace. V případě zvýšených obsahů mohla ložiska vznikat z magmatu, které mělo zvýšený obsah kovů, v případě snížení lze proces považovat za zvláštní způsob diferenciacie magmatu, při níž se kovy koncentrují.

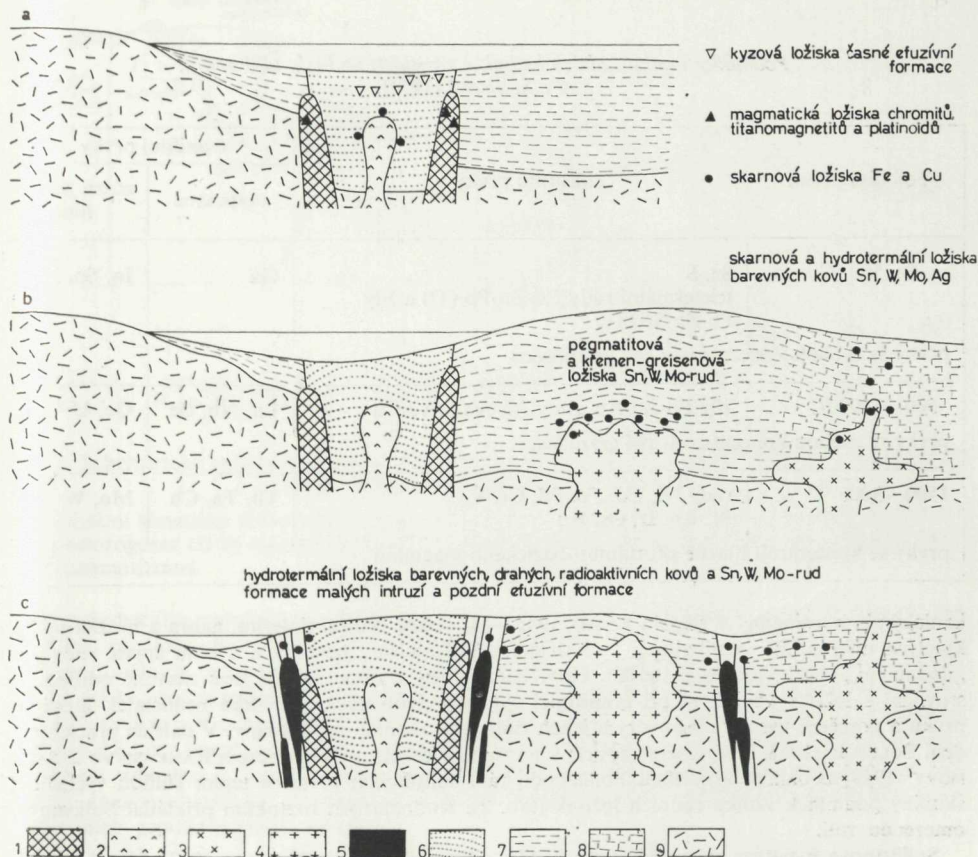
c) Obecně se předpokládá, že kovy i prvky hlušiny zastoupené na žilách se nahromadily v magmatech a byly jím vypoceny během finálního stadia diferenciacie. BOYLE (1970) však konstatuje naopak kvantitativní redukci některých prvků (Cu, Zn, Ca, S, Fe) s postupem diferenciacie od bazických magmat ke kyselým. Pegmatity, jako poslední extrakt kyselého magmatu (předpokládáme-li u nich magmatický původ), jsou obecně zbaveny sulfidů (mimo sulfidy Mo a Bi) a jsou zřetelně chudé na prvky, které se často vyskytují na žilách. V současné době se stále více prosazují názory, podle nichž nejsou pegmatity produktem magmatu, ale vznikají při metamorfne sekrečních procesech, nebo jsou výsledkem difuze složek ze žul.

d) Rudní zonálnost, projevující se na některých ložiskách, bývá kladena do genetické souvislosti s intruzivními tělesy. KRAUSKOPF (1967) upozorňuje na nesprávnost tohoto hlediska, neboť může jít jen o zákonitě se měnící fyzikálněchemické procesy. Zonálnost může ukazovat na pohyb fluida ve směru od některého centra aktivity, jímž může být střed nebo kontakt intruze stejně dobře jako některé „ohnisko“, metamorfózy, v jehož okolí se intruze vůbec nevyskytují.

Vztah zrudnění k tzv. malým intruzím

V posledních letech se pozornost ložiskových geologů obracela též k tzv. malým intruzím, s nimiž jsou často geneticky spojovány rudy kyzů, mědi, olova, zinku nebo zlata. V. I. SMIRNOV (1965) mezi nimi rozlišil „pně,, (nejčastěji složení žula—syenit, křemenný diorit, gabrodiorit, křemenné gabro) a žily (nejrůznějšího složení od kyselého do bazického chemismu). EMMONS (1933) považoval tato tělesa za okrajové části batolitových těles, od nichž vskutku v mnohých případech jsou těžko odlišitelná (některá kritéria stanovil V. I. SMIRNOV (1965)). V otázkách malých intruzí a jejich rudodárnosti existují různé názory. Bývají řazeny do skupiny hypabysálních těles, vznikajících v pozdních (závěrečných) stadiích vývoje geosynklinál (KREJTER 1960, V. I. SMIRNOV 1965 — viz obr. 1), často však jim bývá přisuzován neznámý hlubinný zdroj, z něhož vystupují k povrchu podél hlubokých zlomů podkorového dosahu, ev. z různých částí profilu. Závislost zrudnění na malých intruzích může zde být paragenetická, rudní roztoky se opoždějí za malými intruzemi (ŠIPULIN 1963, FAVORSKAJA, TOMSON et al. 1969). Podle SUDOVIKOVA (1960) vznikají malé intruze v regresivním stadiu metamorfózy, geneticky s nimi zrudnění nesouvisí.

Rozbor některých otázek týkajících se genetické závislosti zrudnění na granitoidních tělesech ukazuje, že hypotéza „magmatistů,, může být sotva přijata bez výhrad jako hypotéza universální. Geologická pozorování jsou v některých případech nejlepší metodou zjištění vztahů zrudnění k intruzi (určení relativního stáří zrudnění vzhledem k intruzi a okolním horninám). Určitých výsledků je někdy dosaženo určením absolutního stáří zrudnění a vyvřelé horniny, nutno však uvažovat spolehlivost této metody. Přínosem k pochopení hydrotermálních procesů jsou četné práce experimentální. Stoupá zájem o výzkum charakteru vodných roztoků při vysokých tlacích a teplotách, mnohé genetické otázky jsou řešeny za pomoci fyzikálněchemických metod (výzkum plynokapalných uzavřenin v minerálech, studium rozmístění prvků mikrosondou a aplikacemi spektroskopických, röntgen-spektroskopických a neutronových aktivačních metod), izotopickými analýzami aj.



Obr. 1. Schema závislosti rudních ložisek na magmatických formacích a stádiích vývoje geosynklinaly (a — časně stadium, b — střední, c — pozdní) podle V. I. Smirnova (1965).

1. Formace peridotitových a gabro-pyroxen-dunitových hornin a platinoidů; 2. Formace plagiogranit-syenitů se skarnovými ložisky železa a mědi; 3. Formace granodioritů se skarnovými a hydrotermálními ložisky vzácných, barevných kovů a zlata; 4. Formace žul s pegmatitovými a greisenovými hydrotermálními ložisky vzácných kovů; 5. Formace malých intruzí s hydrotermálními ložisky vzácných kovů; 6. Formace submarinních vulkanických spilito-keratofyrových i porfyrityvých hornin s hydrotermálními s hydrotermálně-sedimentárními ložisky barevných kovů a kyslíčků železa a manganu; 7. Sedimentární, převážně terigenní horniny; 8. Sedimentární horniny se značným podílem karbonátových sedimentů; 9. Horniny substrátu.

Přínos hypotézy granitisační a geotektonických stádií

Nové názory na vznik rudních ložisek v souvislosti s procesy granitisačními vyslovil SULLIVAN (1948), GOODSPEED (1952), READ (1954), problém vzniku žul a zrudněním s nimi souvisejícím se zabýval MARNO (1959), migraci prvků při granitisační PETRASCHKE (1968), MILOVSKIJ a MATVĚEVA (1970) aj.

Představy SULLIVANA (1968) jsou významné zejména z hlediska historického. Granitisační považoval Sullivan za protiváhu vulkanické aktivity narušující primární geochemickou rovnováhu zemské kůry. Rudní ložiska rozdělil do dvou skupin: 1. Ložiskový doprovod granitických hornin, vznikajících v sílu ze sedimentů a jiných hornin granitisační. 2. Rudy abysálního původu, asociující s „vul-

Tab. 2

*Podmínky vzniku rudních ložisek v závislosti na bodu tání prvků.
Podle Sullivana (1954).*

bod tání prvku	sulfofilní prvky	oxifilní prvky	
		podstatné	zčásti sulfo- filní
0—500 °C prvky se mohou koncentrovat bez granitise	Se, S teletermální rudy Cd-Zn-Pb (Tl) a žíly Pb-Zn-Sb (Te)	Ga	In, Sn, Bi
500—1500 °C prvky se mohou koncentrovat při granitise	žíly Pb-Ag-Au, rudy Ag-Au a Au-Cu	La, Nb, Be	Ge, U
1500—3000 °C prvky se koncentrují hlavně při tuhnutí bazického magmatu	rudy Ni, Co, Fe, Pd, Cr, V, Pt, Rh, Ir, Os, Ru	Th, Ta, Cb	Mo, W

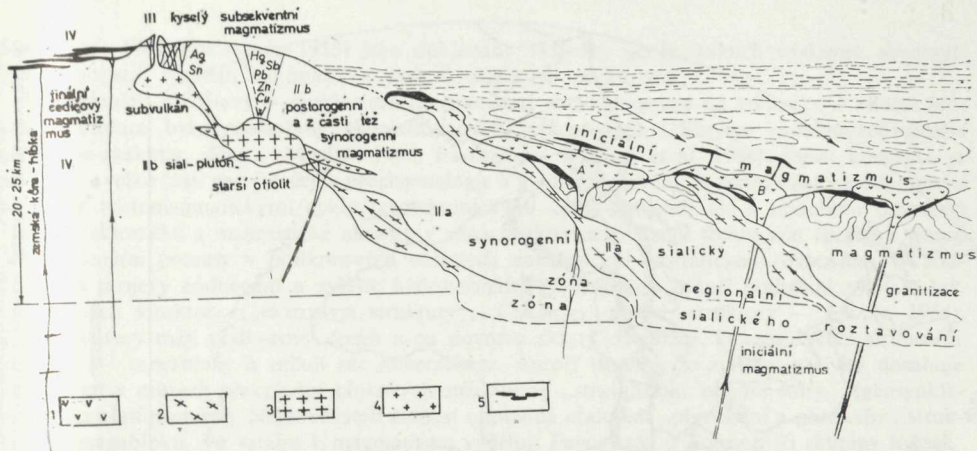
kanickými, horninami (ve smyslu READA 1943—44) včetně čediče, doleritu, gabra a možná i jejich kyselých diferenciatů, vznikajících pod sálem. „Vulkanické, horniny a s nimi spjaté rudy jsou „dodatkem, k primárnímu materiálu kůry. Rudní ložiska obou skupin jsou zásadně odlišná. Ve srovnání s ložisky vzniklými při granitise vykazují „vulkanická, ložiska nedostatek litofilních prvků a poměrně vysoký obsah síry a jejich rudy jsou zonálně uspořádány. V dalších pracích rozdělil SULLIVAN (1954, 1957) chemické prvky na základě geochemické koncepce RANKAMVYO a SAHAMOVY (1949) na oxifilní a sulfofilní. Podle bodů tání sulfofilních prvků a teplot sulfidů vyčlenil tři skupiny podmínek vzniku rudních ložisek (tab. 2). Rudodárným roztokům přikládal Sullivan jen omezenou roli.

Sullivanova hypotéza byla předmětem kritiky některých autorů (VOLFSON 1953). Věcné námítky vyvodil z práce KRAUSKOPFA (1957) který zjistil, že neexistuje možnost korelace mezi body tání kovů, hodnotami tlaků jejich plynů a maximálními možnými obsahy prvků v těchto plynech. Z toho vyvodil, že nelze korelovat body tání prvků s jejich pohyblivostí.

V poslední době se problém migrace prvků při vzniku palingenních a metasomatických žul zabýval PETRASCHECK (1968). Pro tvorbu ložisek považuje za nejpříznivější případy, kdy granitise podléhají tmavé jílovité břidlice nebo některé písčito-detritické uloženiny. Významné jsou výzkumy MILOVSKÉHO a MATVĚVY (1970), kteří na základě řady konkrétních výpočtů došli k závěru, že při granitise dochází k přemísťování chemických prvků (stanovili směr pohybu některých prvků) a ke vzniku příhodných podmínek pro tvorbu rudních akumulací.

V celku představy o vzniku rudních ložisek při procesech granitisačních dosud nenašly v metal-genetických úvahách praktické použití. Přinesly však nové myšlenky a náměty, které našly svoje uplatnění zejména v hypotéze metamorfogenní.

V západoevropské a sovětské geologické škole bylo v posledních létech věnováno mnoho pozornosti zkoumání závislosti vzniku ložisek na jednotlivých fázích vývoje geosynklinály a jejího magmatismu — na tektonomagmatických cyklech (STILLE 1924, 1944, 1950, SCHNEIDERHÖHN 1955, BILLIBIN 1955, MAGAKJAN 1959 aj.). Převážná většina ložisek hydrotermální genese je časově vztahována k fázi pozdněorogenní (k intruzím granitoidů) a dále k fázi subsekventního vulkanismu převážně intermediárního a kyselého chemismu. S fází iniciálního magmatismu, s jejím submariním spilito-keratofyrovým a porfyrítovým vulkanismem jsou geneticky spojována pouze některá hydrotermálně-sedimentární ložiska kyzových a železných rud. Je zdůrazňován význam asimilace, palingenese a granitise pro složení magmatu a jeho rudodárnost. Velmi instruktivně i když dosti schematicky jsou uvedené vztahy znázorněny na schématech Borcherta (obr. 2) a Smirnova (obr.



Obr. 2. Schematické znázornění časové a prostorové posloupnosti vzniku simatického a sialického magmatismu (podle Borcherta 1967).

1 — iniciální simatický (ofiolitický) magmatizmus, 2 — sialický synorogenní (II a) magmatizmus, 3 — postorogenní (II b) magmatizmus, 4 — sialický subsekvntní magmatizmus, 5 — finální čedičový magmatizmus.

1). Nástin specifiky metalogenese platform (intruzivní komplexy a s nimi spjatou endogenní mineralisací) předložili BILLIBIN (1955 a MAGAKJAN (1959).

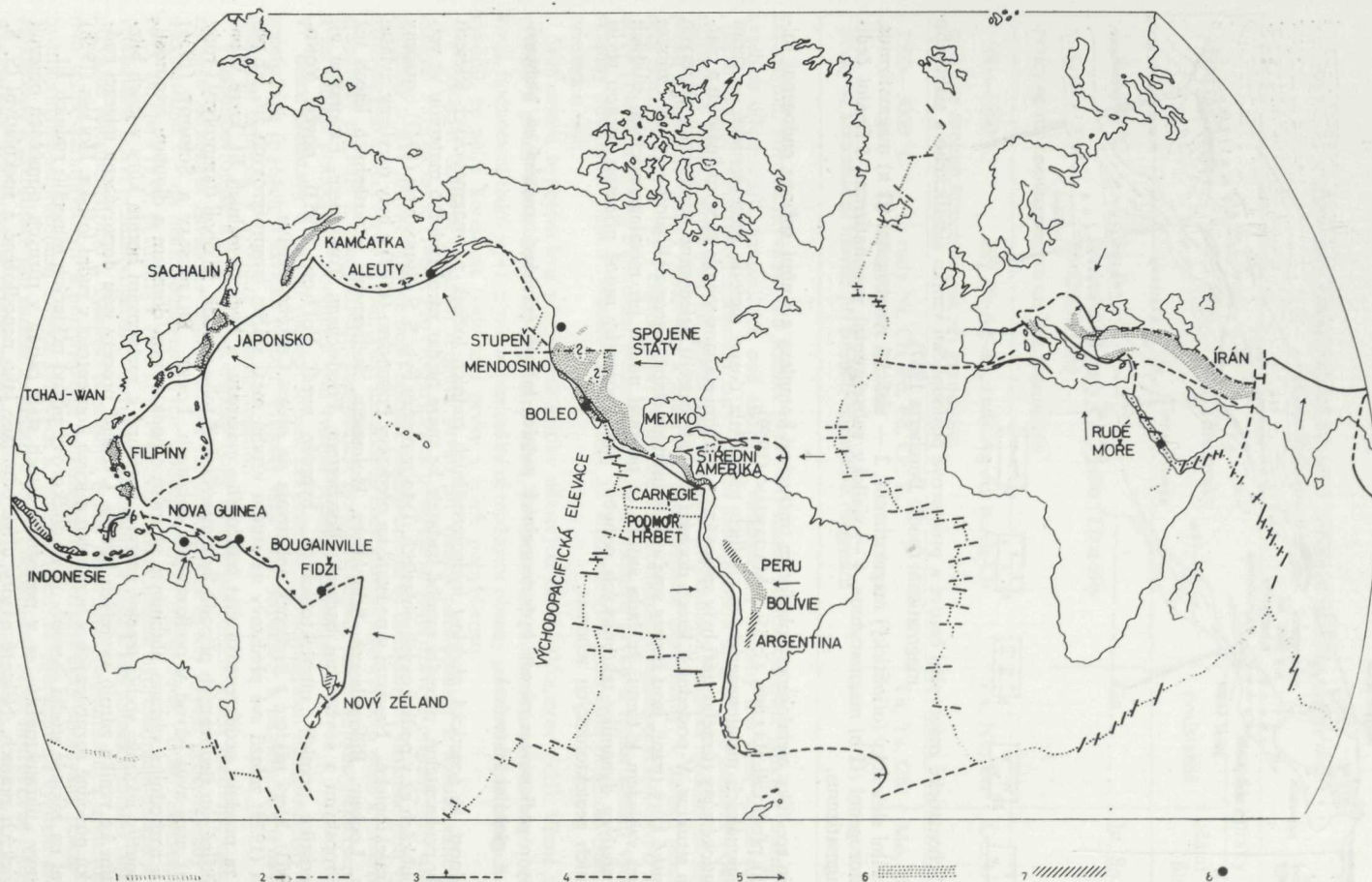
Při regionálních metalogenetických studiích převládala dosud metoda geotektonická — rudní a magmatické zóny různého stáří byly spojovány s určitými etapami vývoje geosynklinálních a platformních struktur. V posledních letech dochází ke stále častější nejednotné interpretaci některých částí zemské kůry (např. jsou řazeny současně k určitým etapám geosynklinálního vývoje i zónám aktivisace) vzhledem k tomu, že řada autorů se pokouší použít při metalogenetických studiích metody analýzy dynamiky tektonických pohybů. Nové poznatky nutně přinesou určitou revisi dosavadních geotektonických schemat.

Představy o podkorovém původu hydrotermálních rudních ložisek (závislost zrudnění na hlubinné blokové a globální tektonice)

Skutečnost, že genetická závislost hydrotermálních rudních ložisek na magmatických tělesech není vždy prokazatelná, přivedla mnohé badatele ke snaze hledat zdroj rudního materiálu ve velkých hloubkách až v podkorových oblastech. Tyto hypotézy byly S. S. SMIRNOVEM (1947) označeny jako „ultratektonické...“ Navazují v podstatě na představy POŠEPNÉHO (1893) a byly rozvíjeny zvláště HULINEM, LOCKEM, BILLINGSLEYEM, SCHMIDTEM, HOLMESEM, SULLIVANEM, v posledních letech též západoevropskými a sovětskými badateli: BORCHERTEM, FRIEDRICHEM, TOMSONEM, FAVORSKOU aj. Charakteristiku prvních „ultratektonických...“ hypotéz uvedl VOLFSON (1953), nověji VONDROVÁ (1963), která některé z myšlenek aplikovala na oblast Českého masívu.

HULIM (1929) založil své představy na studiu vztahů mezi stářím lamprofyrových žil, jež považoval za produkt nediferencovaného čedičového magmatu, a hydrotermálních žil, které v naprosté většině jím sledovaných případů byly mladšími. Z toho usoudil, že obojí (lamprofyry i rudy na žilách) mají svůj původ v podkorových oblastech. LOCKE, BILLINGSLEY a SCHMIDT (1934) přikládali rozhodující význam hlubinným zlomům s podkorovým dosahem a dlouhou životností. Zlomy sloužily jakýmisi vodiči tepelné energie, potřebné k roztavování hornin kůry v jejich blízkosti a tím ke vzniku zdrojů vyvřelých hornin. Uvedené procesy jsou doprovázeny migrací rudních prvků původně rozptýlených v horninách a jejich koncentrací v rudní ložiska. HOLMES (1938) dokazoval na základě studia izotopů olova podkorový původ některých minerálů rudních žil.

Představy „ultratektonistů...“ se v posledních letech stále častěji v různých obměnách objevují v geologických pracech. Některé názory dříve odmítané jako nepodložené a spekulativní (S. S.



Obr. 3. Hlavní poeocenní endogenní metalogenetické provincie světa ve vztahu k hlavním blokům (Guild 1972).

1. Narůstající okraj bloku; 2. Příčné posuny, porušující okraje bloků; 3. Asimilace okraje bloků s vyznačením směru jejich ponořování; 4. Hranice neurčitého charakteru a (nebo) lokalisace; 5. Relativní pohyb bloku; 6. Oblast mineralicase poeocenního stáří; 7. Menší nebo možné poeocenní mineralisace; 8. Ojedinelá větší nebo pozoruhodná ložiska poeocenního stáří.

SMIRNOVEM 1947, VOL'FSONEM 1953) jsou dokládány výsledky geofyzikálních výzkumů, absoultní geochronologii, studiem izotopického složení některých prvků atd.

Nejucelenější představy o závislostech magmatismu a metalogenese na tektonice a zvláště blokové tektonice byly předloženy skupinou sovětských geologů („Skrytye rudokontrolirujuščie glubinnye razlomy, Sbor., Moskva 1962, Favorskaja, Tomson et al. 1966). Jejich koncepce je založena z velké části na výsledcích geochronologie a vyhází ze zjištění, že rudní mineralisace souvisí nikoliv s tektonomagmatickými cykly (geotektonickými cykly Stilleho) ale s obdobími (impulzy) zvýšené tektonické a magmatické aktivity v zónách aktivisace. Vznik těchto zón spojují s dosud nevysvětlenými procesy v podkorových oblastech narušujícími izostatickou rovnováhu. V souvislosti s projevy endogenní a zvláště hydrotermální mineralisace autoři podtrhují význam tzv. „průběžných struktur,“ („skvoznyje struktury“, Chainovy příčné struktury — CHAIN 1964). Tyto struktury mají podkorový dosah a na povrchu skrytý charakter. Omezují velké strukturní jednotky — megabloky a určují ráz mineralisace. Autoři uvádějí, že zvláštní aktivity dosahuje tvorba rud v místech překrývání blokových struktur se „strukturami zemské kůry,“ (geosynklinálními a platformními). Nejbouřlivější činnost odpovídá období „přetváření a přestavby strukturních megabloků. Ve vztahu k magmatismu vyděluji Favorskaja a Tomson tři skupiny ložisek 1. Ložiska geneticky spjatá s magmatickými tělesy (přímou závislost lze stanovit např. u vysoko-templotních typů rud). 2. Ložiska spjatá s vyvřelými horninami parageneticky. Pod vlivem podkorových procesů může docházet ke vzniku magmatických krbů, rozmístěných na různých hloubkách. S nimi, stejně jako s procesy kontaminace, asimilace a palingenese je prostorově i časově spjat vznik rud. Autoři uvádějí příklady různého zdroje rudního materiálu ložiska molybden-zlatých rud v Zabajkalsku. Do této skupiny zahrnují též malé intruze. 3. Ložiska amagmatická, vznikající zřejmě pod vlivem endogenních emanačních toků, pronikajících po nejhlubších průběžných zlomech. Podle AVÉŘEVA (1966) mohou proudy přehřáté páry vést ke vzniku krbů paligenního magmatu. Tento poznatek by dovoľoval závěr, že zdroj rudního materiálu (nebo alespoň jeho části) může být hlubinný i v případech, kdy závislost zrudnění na magmatických tělesech je zcela zřejmá. Podle uvedených autorů mají pro minerogenesi největší význam endogenní procesy, periodicky probíhající v rozmezí svrchního pláště a doprovázení „přeskupiváním,“ hmot a uvolňováním energie. V obdobích aktivisace se mohou některé „průběžné struktury,“ stát vodiči nejen hlubinných magmatických tavenin a tepelných toků, ale i endogenních emanací.

Úvahami o hlubinných zdrojích kovů se zabývali též KRAUSKOPF (1967) a BOYLE (1970). Oba se shodují na tom, že přes nedostatek konkrétních údajů je nutno hypotézy, odvozuující materiál rudních ložisek z hlubinných sfér brát vážně v úvahu. Bazalty, vystupující z hlubinných zón, uložených níže Mohorovičičova rozhraní, mohou k povrchu vynášet také nové dávky kovů. Někteří autoři předpokládají možnost jakési diferenciace nebo segregace kovů v samém plášti, do zemské kůry pak kovy postupují již v koncentrovaném množství. BROWN (in KRAUSKOPF 1967) předpokládá existenci vrstvy sulfidů v plášti, odkud materiál při tektonických pohybech postupuje po trhlinách do kůry (podobnou ideu nacházíme již u Descarta).

Představy o hlubinných zdrojích rudního materiálu, zastávané stoupenci blokové tektoniky zapadají též dobře do nové koncepce vývoje zemské kůry — globální tektoniky (plate tectonics — MENARD 1969, DICKINSON 1971 aj.). Aktivní riftové zóny se mohou stát přívodními drahami pro horninový i rudní materiál ze spodní kůry a svrchního pláště. Riftové zóny, označené VINOGRADOVEM et al. (1969) deskriptivním termínem „georiftogenaly,“ (tektonické systémy zvláštního typu se specifickou formací „serpentinit-bazaltovou,“), jsou charakterisovány ultrabazickými horninami poměrně nízkého stupně diferenciace, což je spojeno zřejmě s neznámými teplotními podmínkami v hloubkách větších 20 km, kde přicházejí v úvahu procesy zonálního tavení pláště. Údaje o geochemii a petrologii „georiftogenních,“ perioditů přivedli DMITRIEVA et al. 1971() k závěru, že rozmístění stopových prvků v těchto horninách je určováno dvěma procesy: migrací prvků během protoplanetárního stadia diferenciace pláště a redistribucí při jejich transportu plyny a hydrotermami, souvisejícími s degazací pláště. Údaje o hydrotermálním transportu některých chalkofilních a litofilních prvků byly zjištěny na „Karlsberg Ridge,“ v Indickém oceánu. Některé jevy zde svědčí o fumarolové aktivitě z podkorových zdrojů, významné nejen pro transport kovů, ale pravděpodobně i pro tvorbu palingenní kyselé taveniny. Z četných dalších prací jsou zajímavé např. výsledky výzkumů GUILDA (1972), který vydělil základní poecenní endogenní metalogenetické

provincie světa ve vztahu k hlavním blokům (obr. 4), dále práce BEDERKE (1970), zabývající se vývojem evropských riftů aj. Význam fosilních riftových zón při metalogenetických studiích zdůraznil KUKAL (1971).

Přínosem k řešení zdrojů rudního materiálu je studium izotopického složení některých prvků. Předchůdcem mnohých pozdějších badatelů o izotopech byl HOLMES (1938). Jeho výsledky byly sice kritikovány řadou autorů (GRATON 1938), zájem o tuto problematiku však dále vzrůstal. V posledních letech je studium izotopů jednou ze základních metod geofyziky, geochemie a geologie. Jsou sledovány izotopy Pb^{206} a Pb^{207} vznikající rozpadem uranu, izotop Pb^{208} vznikající rozpadem thoria a neradiogenní izotop Pb^{204} . Poměr izotopů olova z homogenního pláště se liší podstatně od poměru izotopů z heterogenní zemské kůry. Při srovnávání se vychází z předpokladu že v eugeosynklinálních podmínkách, kdy sialická kůra byla tenká, se vytvořily příznivé podmínky pro vznik olova s izotopickými vztahy velmi podobnými vlastnímu podkorovému zdroji (SLAWSON, RUSSELL 1967). Metoda zkoumání izotopického složení olova nedovoluje dosud jasně stanovit zda je určitý vzorek příkladem primárních izotopických vztahů či nikoliv a tím je také ztížena interpretace výsledků. Studium izotopů uhlíku, poměru C^{12}/C^{13} , byly získány údaje o genesi diamantů v kimberlitech Jakutsko a o genesi karbonátů. Obojí pocházejí z podkorového zdroje (V. I. SMIRNOV 1969). Od roku 1949 je při posuzování genese sulfidů na ložiskách používáno studium přírodních stabilních izotopů síry (S^{32} , S^{33} , S^{34} , S^{36}) a jejich vzájemných vztahů. Metoda má svoje omezení v tom, že zdroj kovu a síry v sulfidech může být různý; získáváme tedy údaje jen o původu síry. Výzkumy izotopického složení výchozího materiálu budou přínosem k této problematice (JENSEN 1967). K určení genese hydrotermálních fluid (jejich charakteru, stanovení vztahu mezi kyslíčnými v dané asociaci) jsou zkoumány též vztahy izotopů O^{18}/O^{16} v přírodních asociacích, zejména na středně a nízkoteplotních ložiskách (TAYLOR 1967).

Problémem hlubinného zdroje rudního materiálu se zabývá stále větší okruh badatelů. Mnoho zásadních otázek o charakteru látek spodní části zemské kůry a svrchního pláště zůstává sice dosud nezodpovězeno, množství znalostí se však postupně zvětšuje a řada údajů nabývá jisté průkaznosti.

Závěr

Od 30 let našeho století byly sledovány zejména vztahy hydrotermální mineralisace k magmatickým horninám různého složení a rozměrů (plutonům i malým intruzím). S ultrabazickými horninami podkorového původu může být zřejmě vynášena řada prvků, které při procesech segregace, příp. likvace (?) mohou vytvářet ložiska intramagmatického typu. Tvorba hydrotermálních roztoků z těchto magmat je pravděpodobně zanedbatelná ve srovnání s korovými kyselějšími magmaty. Vzhledem k tomu, že granitoidním magmatům je v současné době převážně přikládán palinogenní původ, závisí jejich rudní doprovod zřejmě ve značné míře na chemismu výchozích hornin. Značně rudonosná mohou být podle Krauskopfa (1967) magmata, vzniklá vytavením sedimentů, obohacených rudními prvky při zvětřovacích procesech.

LITERATURA

- ABDULAEV, CH. M. 1960: O petrometallogenetičeskich rjadach magmatičeskich porod i endogennyh mestoroždenij. Sov. Geol. (Moskva), 3, 5, 3—13.
- AVEREJEV, V. V. 1966: Gidrotermal'nyh process v vulkaničeskich oblastjach i jego svjaz' s magmatičeskoj dejatel'nostju. Sbor. Sovremennyj vulkanizm, 2. Vsesojuz. vulkan. sověšč. Moskva.
- BEDERKE, E. 1970: Razvitie evropejskich riftov. Sistema riftov Zemli, Trudy Symp. Ottawa, Canada Canada 1965. Moskva, 74—91.
- BILIBIN, J. A. 1955: Metallogenetičeskije provincii i metallogenetičeskije epochy. Kijev.
- BORCHERT, H. 1967: Vulkanismus und oberer Erdmantel in ihrer Beziehung zum Äusseren Erdkern und zur Geotektonik. Boll. Geof. Teor. Appl., 9, 35, 194—213.
- BOWEN, N. L. 1928: The evolution of the igneous rocks. New York.
- BOYLE, R. W. 1970: Source of metals and gangue elements in hydrothermal deposits. Probl. hydroterm. ore depos., Stuttgart, Budapest, 3—6.
- DICKINSON, W. R. 1971: Plate tectonics. Geotimes (Washington), 16, 21—22.

- DMITRIEV, L.—BARSUKOV, V.—UDINTSEV, G. 1971: Rift-zones of the ocean and the problem of ore-formation. Proceedings of the IMA-IGOD Meetings' 70. The Soc. Min. Geol. of Japan, spec. issue, Tokyo-Kyoto, 3, 65—69.
- EMMONS, W. H. 1933: On the mechanism of deposition of certain metalliferous lode systems associated with granitic gatholits. Ore deposits of the Western States. New York.
- FAVORSKAJA, M. A.—Tomson, I. N.—Ivanov, R. G.—Baskina, V. A.—Volčanskaja, I. K.—Děžin, J. P.—Kravcov, V. S.—Frich-Char, D. I. 1969: Svjaz magmatizma i endogennoj mineralizacii s blokovoju tektonikoj. Moskva.
- FENNER, C. N. 1933: Pneumatolytic process in the formation of minerals and ores. Ore deposits of the Western States. New York, 58—106.
- GOLDSCHMIDT, V. M. 1933: Grundlagen der quantitativen Geochemie. Fortschr. Mineral. Kristallogr. Petrogr. (Jena), 17, 112.
- GOLDSCHMIDT, V. M. 1954: Geochemistry. Oxford.
- GOODSPEED, G. E. 1952: Mineralization related to granitization. Econ. Geol. (Lancaster Pa.), 47, 2, 146—168.
- GRATON, L. C. 1938: Ores: from magma or deeper? A reply to Arthur Holmes. Econ. Geol. (Lancaster Pa.), 33, 251—286.
- GUILD, P. W. 1972: Metallogeny and the new global tectonics. IGC, 24th sess., Canada 1972, sect. 4 Mineral deposits, Montreal, 17—24.
- HOLMES, A. 1937, 1938: The origin of primary lead ores. Econ. geol. (Lancaster Pa.), 32, 33, 763—782, 829—867.
- HULIN, C. D. 1929: Metallization from basic magmas. A theory of genesis for hydrothermal and emanation types of ore deposits. Geol. Sci. Bull., 18, 9.
- CHAIN, V. E. 1964: Obščaja geotektonika. Moskva.
- INGERSON, E. 1965: The concept of a separable pneumatolytic stage in post-magmatic ore formation. Sympos. Post. magm. ore depos., 2, 463—471.
- JENSEN, M. L. 1967: Sulphur isotopes and mineral genesis. — Geochemistry of hydrothermal ore deposits, New York, London, 143—164.
- KADIK, A. A.—LEBEDEV, J. B.—CHITAROV, N. J. 1971: Voda v magmatičeskich rasplavach. Moskva.
- KRAUSKOPF, 1957: The heavy metal content of magmatic vapor at 600 °C. Econ. Geol. (Lancaster Pa.), 52, 786—807.
- KRAUSKOPF 1967: Source rocks for metal-bearing fluids. — Geochemistry of hydrothermal ore deposits, New York, London, 1—33.
- KREJTER, V. M. 1960: Poiski i razvėdka mestoroždenij poleznykh iskopaemykh. 1. Moskva.
- KUKAL, Z. 1971: Kontinentální drift, globální bloková tektonika a nerostné suroviny. Geol. Przk. 13, 4, 97—100.
- LOCKE, A.—Billingslay, P.—Schmitt, D. 1934: Some ideas on the occurrence of ore in the Western United States. Econ. Geol. (Lancaster Pa.), 29, 560—576.
- MAGAKJAN, I. G. 1959: Osnovy metalogenii meterikov. Jerevan.
- MARMO, V. 1959: Graniten und Erzbildung. Freiberg. Forsch.—H., R. C 57, 34—47.
- MEHNERT, K. R. 1968: Migmatity i proischoždenie granitov. Moskva.
- MENARD, H. W. 1969: The deep-ocean floor. The Ocean, San Francisco, 55—63.
- MILOVSKIJ, A. V.—MATVEEVA S. S. 1970: Povėdenie elementov v processe granitizacii porod. Geol. rud. Mestorožd. (Moskva), 3, 3—22.
- NIGGLI, P.—MOREY, G. W. 1913: Die hydrotermale Silikatbildung. Zeitschr. Anorg. Chemie, Leipzig-Hamburg, 369—416.
- NIGGLI, P. 1929: Ore deposits of magmatic origin. Their genesis and natural classification. New York.
- OVČINNIKOV, L. N. 1967: Granitic melt as a source of metals of sialic plutogenic hydrothermal deposits. IAGOD Sympos. Univ. of St. Andrews 1967, Extr. from Transact. (Sec. B of the Institut. of Min. and Metall., 76, 13.
- PETRÁSCHEK, W. E. 1968: Die Entstehung der Erzlagerstätten. Sonderdruck aus Vom Erdkern bis zur Magnetosphäre (H. Murawski) Frankfurt, 191—204.
- POŠEPNÝ, F. 1893: The genesis of ore deposit. New York.
- RANKAMA, K.—SAHAMA, T. G. 1949: Geochemistry. Chicago.
- READ, H. H. 1943—1944: Meditations on granite I. and II. Proc. Geologist. Assoc. London, 64—85, 45—93.
- READ, H. H. 1954: Granitization and mineralization. — Geol. en Mijng. 16, 95—99.
- ROUTHIER, P. 1963: Les Gisements Métallifères: Géologie et Principes de Recherche. Paris.
- SATTRAN, V.—KLOMÍNSKÝ, J. 1970: Petrometallogenetic series of igneous rocks and endogenous ore deposits in the Czechoslovak part of the Bohemian massif. Sbor. geol. Vėd, Ř. LG, 12, 65—154.

- SCHNEIDERHÖHN, H. 1955: Erzlagestätten Kurzvorlesungen zur Einführung und zur Wiederholung. Jena.
- SLAWSON, W. F.—RUSSELL, R. D. 1967: Common lead isotope abundances. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, New York, London, 77—106.
- SMIRNOV, V. I. 1965: *Geologija poleznych iskopaemych*. Moskva.
- SMIRNOV, V. I. 1968: Problemy gidrotermalnogo rudoobrazovaniya. Symposium v Šotlandii. — *Věst. Akad. Nauk SSSR*, 1, 81—84.
- SMIRNOV, V. I. 1969: Ob istočnikach veščstva endogennykh mestoroždenij poleznych iskopaemych. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. geol.; Fiz. Zemli*, 3, 3—17.
- SMIRNOV, S. S. 1947: O sovremennom sostojanii teorii obrazovaniya magmatogennykh rudnykh mestoroždenij. *Zap. Vsesojuz. mineral. Obšč.*, Ser. 2 (Leningrad), 76, 1.
- STILLE, H. 1924: *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*. Berlin.
- STILLE, H. 1944: Geotektonische Gliederung der Erdgeschichte. *Abh. Pr. Akad. Wiss., Math.-naturw. Kl.*, 3.
- STILLE, H. 1950: Der „subsequente“ Magmatismus. Berlin.
- SULLIVAN, C. J. 1948: Ore and granitization. *Econ. Geol. (Lancaster Pa.)*, 43, 471—498.
- SULLIVAN, C. J. 1954: Metallic melting point and ore deposition. *Econ. Geol. (Lancaster Pa.)*, 49, 555—574.
- SULLIVAN, C. J. 1957: Heat and temperature in ore deposition. *Econ. Geol. (Lancaster Pa.)*, 52, 5—24.
- ŠIPULIN, F. K. 1963: Někotorye voprosy genezisa gidrotermalnogo sulfidnogo orudněni a asocirovannogo s samosto atefnymi malymi intruzi ami. — *Geol. rud. Mestorožd. (Moskva)*, 2, 3—27.
- ŠTEMPROK, M. 1963: A pneumatolytic phase in the classification of ore deposits. *Sympos, Probl. Postm. Ore Depos.*, Prague, 1, 497—501.
- TAYLOR, H. P. 1967: Oxygen isotope studies of hydrothermal mineral deposits. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, New York, London, 109—140.
- VINOGRADOV, A. P.—UDINCEV, G. B.—DMITRIEV, L. V.—KANAEV, V. F.—NEPROČNOV, J. P.—PETROVA, G. N.—RYKUNOV, L. N.—KOGAN, L. I. 1969: Stroenie riftovo zony Indi skogo okeana i ego mesto v mirovoj sisteme riftov. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. geol.; Fiz. Zeml*, 10, 3—27.
- VOLFSON, F. J. 1953: Problemy izučeniya gidrotermalnykh mestoroždenij. Moskva.
- VONDROVÁ, N. 1963: Hlubinné tektonické zóny v Českém masívu a jejich význam pro metalogenesi. *Geol. Průzk.*, 5, 4, 161—164.
- ZAVARICKÝ, A. N. 1926: *Fiziko-chimičeskíe osnovy petrografii izveržennykh gornych porod*. Leningrad.

Pokračovanie recenzie zo str. 296

v tomto smere učiněny od r. 1958 do r. 1970. Z výsledků jsou odvozeny závěry týkající se globální tektoniky, a to zejména ve smyslu plotnové tektoniky („plate tectonics“), která je velmi široce charakterizována včetně teplotních jevů v oblastech subdukce ploten a strukturních modelů, kterých bylo použito k výkladu plotnové tektoniky.

Závěr knihy tvoří diskuse mezi různými směry moderní fyzikální geologie — např. diskuse mezi V. V. Belousovem a J. T. Wilsonem o vzniku oceánů, diskuse o stáří oceánů a kontinentálních bloků apod. Autor proklamuje selekci údajů a je pro selektivní interpretace. Jeho kniha končí ovšem otazníkem, neboť

dynamika naší Země je již sice v principu známa ale jak a kdy působila a co bylo skutečným výsledkem jejího působení, je dosud v mnohých případech nezodpovězenou otázkou.

Ve srovnání s jinými knihami, které v poslední době vyšly, je větší důraz kladen na endogenní dynamiku a málo je v knize uvedeno o exogenních činitelích. Autorův úmysl byl však spíše vycházet z hlubinných geologických procesů, které pokládá za primární, proto otázky vývoje atmosféry, vlivů paleoklimatu, života apod. nechává stranou. Kniha přináší inspirující data i úvahy, z nichž mnohé jsou dosud u nás neznámé.

Zdeněk Pouba