

DISKUSIA

Otázka zvrtnosti a nezvrtnosti geologických procesov

MILAN MIŠÍK*

Často sa stretávame s tvrdením, že v anorganickej prírode niet kritérií pre vývoj, pre pokrok a regres, že tu niet dôsledne jednosmerných tendencií, že v najširšom slova zmysle niet tu nezvratných dejov. Záleží, pravda, na tom, ako si nezvratnosť definujeme, či absolútne — vo vesmírnom meradle, či v rámci zemegule, alebo v rámci jedného orogenetického cyklu a podobne. Všimnime si, ako sa termíny zvrtnosť — nezvratnosť v geologickej literatúre či už právom alebo neprávom používajú. Zo školských rokov je v našom povedomí termín „zvratný“ zafixovaný po najviac v súvislosti s chemickými reakciami, kde označuje možnosť ľahkého návratu do bezprostredne predchádzajúceho štádia. V tomto zmysle nemali by sme sem v geológii zahrnúť cyklické (presnejšie špirálové) deje.

Ktoré procesy v geológii prichádzajú do úvahy ako nezvratné? Začnime s kozmogóniou, ktorá je uvádzaná ako jedna z pomocných vied historickej geológie.

Z vodíka ako základnej stavebnej látky Vesmíru, jadernou syntézou vo hviezdach vznikali a vznikajú ďalšie chemické prvky. Táto premena vodíka v iné prvky jadernou syntézou zdá sa byť nezvratná. Vo vesmíre nebol zatiaľ pozorovaný opačný proces, napr. rozpad hélia na vodík. F. Hoyle z toho vyvodzuje, že sa teda vodík vo vesmíre vytvára z ničoho, že dochádza k trvalému tvoreniu vodíka v kozmickom priestore.

Podobne nezvratným procesom zdá sa byť premena hmoty v energiu — v žiarenie. Vyžarovanie spôsobuje pozvoľné vyrovnávanie teplôt, malo by viesť k predpokladanej „tepelnej smrti vesmíru“ (entropia). Problém možno spojiť s predošlým. Tí, ktorí nesúhlasia s nezvratnosťou uvedených procesov, tvrdia, že zo žiarenia niekde inde vo vesmíre musí vznikáť hmota, že dochádza k tvorbe látky z energie. F. Engels v úvode k *Dialektike prírody* to výstižne formuluje takto: „Dochádzame teda k záveru, že akýmiś spôsobom — objaviť ho bude raz úlohou prírodovedy — musí teplo vyžiarené do vesmíru mať možnosť premeniť sa v inú formu pohybu, v ktorej sa môže znova sústrediť a aktívne pôsobiť. Tým padá hlavná ťažkosť, ktorá stála v ceste uznania spätnej premeny odumretých slncí v žeravú hmlovinu“.

Záver o rozpínaní vesmíru vyplynul z poznatku, že všetky hmloviny sa od nás vzdalujú. Proti nezvratnosti tohto procesu môže byť iba hypotetická námietka, že v iných nám neznámych častiach Vesmíru dochádza v súčasnej dobe ku kontrakcii, alebo že rozpínanie a kontrakcia sa vzájomne striedajú v nejakej dlhej perióde.

Z geologických tém najviac sa popísalo o nezvratnom raste kontinentov, teda o nezvratnej produkcii sialu zo simy. Zväčšovanie sa kontinentov ich „vypotovaním“, oddiferencovaním z podkôrových hmôt, má značnú oporu v historickej geológii. Po každom orogenetickom cykle pridávali sa nové konsolidované celky k zárodočným jadrám kontinentov, tvorených praeakambrickými štítmí. Dokonca sa tvrdí, že pôvodnou zemskou kôrou bola simatická litosféra, ktorej zvyškami je Tichý oceán a časť Indického oceánu s bazaltovým dnom a až neskoršie vznikali diferenciáciou sialové kryhy kontinentov. Tieto postupne zaberajú miesto „odumierajúcich“ prvotných priehlbín s bazaltovým podkladom, ktoré sú „prežitkom kozmickej éry Zeme“ (A. N. Mazarovič, 1952). Tento dojem o raste kontinentov je ovšem oslabovaný dokladmi z novších prác, že podloží mladších geosynklinál orogénov, boli už proterozoické sialové horniny, a že geosynklinály neboli zakladané na oceánskom dne, na simatickom podklade, ako si to predstavovali starší americkí autori. Neznámosť v tomto zdánlivo nezvratnom procese sú aj obrovské plochy oceánov; nevieme, čo bolo na ich mieste. Dlho sa tvrdilo, že kontinenty sa zväč-

*Prof. dr. Milan Mišík, DrSc., Katedra geológie a paleontológie Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava Gottwaldovo nám. 2.

šovali na úkor oceánov, nie je však vylúčené, že oceanická litosféra sa mohla občas tvoriť na úkor kontinentov, že časti kontinentov sa mohli zmeniť v oceánske dno. Tento spätný proces, tzv. bazifikácia kontinentálnych krýh, sa teraz objavuje stále častejšie v geologickej literatúre. Napr. bazifikáciou sa vysvetľuje fakt, že pod Čiernym morom chýba granitická vrstva. Predstavou o bazifikácii sa proces tvorby kontinentov mení na zvrtný.

Z historickej geológie veľmi presvedčivo vyplýva postupný rast platformiem na úkor geosynklinál, počnúc paleozoikom. Napr. podiel platformiem oproti geosynklinálam sa ku koncu mezozoika zvýšil 5:1 oproti 2:1 z paleozoika. (V. E. Chain—A. B. Ronov, 1960). Tvrdenie o nezvratnosti tohto procesu je však značne oslabené tým, že pre praekambrium sa všeobecne predpokladá jestvovanie tzv. praekambrickej panplatformy, alebo „protoplatformy“, zaoberajúcej celý sialový povrch. Pritomnosť praekambrikových súborov v podklade mladších orogénov ukazuje, že geosynklinály boli vskutku zakladané na úkor platformiem (A. V. Pejve—V. M. Sinicyn, 1960). Údajné postupné zmenšovanie geosynklinálnej aktivity sa vyvodzuje z toho, že plošný rozsah mladších pohorí je menší. Celková bilancia aktivity sa však azda vyrovnáva skracovaním orogenetických cyklov smerom k dnešku. Vôbec ťažko je možno povedať, ktorá časť povrchu je ozaj definitívne konsolidovaná. Veď v miestach zarovnanej kaledónskej refazy Ardeny—Západné Sudety sa naložila nová hercynská geosynklinála. V mieste peneplenizovaného hercynského pohoria „Praálp-Prakarpát“ založila sa skoro bez prerušenia alpínska geosynklinála. Aj staré konsolidované celky môžu byť zachvátené do vrásnivých procesov (tzv. reaktivácia, rejunizácia časti platformy, napr. pohoria Strednej Ázie). Predstava o nezvratnom trende v pribúdaní platformiem je tým značne otrasená.

Podobne ako nezvratný proces klesania geosynklinálnej aktivity sa nadhadzuje proces sústavného znižovania vulkanickej aktivity za posledných 400 miliónov rokov. Vidieť to na klesaní celkového objemu vyvrhnutého vulkanického materiálu v jednotlivých maximách vulkanickej činnosti (v období od devónu do triasu včítane): $D_3 - 9,3 \times 10^6 \text{ km}^3$, v $C_1 - 8,7 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, v $P_1 - 8,5 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, a v $T_3 - 7,6 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ (I. I. Potapov, 1962).

Slabnutie tektonickej a vulkanickej činnosti odvodzuje sa z „vyhárania paliva“, z rozpadu rádioaktívnych látok. Podľa C. J. Vojtkoviča (1956) urán uvoľňoval pred 5 miliardami rokov až $17 \times$ viac energie než dnes. Množstvo rádioaktívnych izotopov by sa teda nezvratne znižovalo, niektoré izotopy by postupne prakticky vymreli. Proti nezvratnosti tohto deja možno namietnuť, že obsahy rádioaktívnych látok sú dopĺňované výstupmi ďalších hmôt z hlbokjej časti planéty a keď sú to aj zdroje vyčerpatelné, nemusel sa v doterajšom vývoji zemskej kôry žiadny zreteľný úbytok prejavíť.

S predošlou otázkou súvisí aj otázka nezvratnosti v tepelnom hospodárení Zeme. Už starí autori predpokladali postupné ochladzovanie sa pôvodne žeravej zemegule; boli dokonca pokusy odhadnúť vek Zeme z tohto rovnomerného chladnutia. Po objavení rádioaktívneho rozpadu stalo sa jasným to, odkiaľ Zem dopĺňa tepelné straty. Otázka nezvratnosti sa však vynorila na inom mieste. Za motor orogenetických procesov bývajú teraz najčastejšie pokladané tzv. konvekčné prúdy v podkôrových vrstvách. Postupným vyrovnávaním tepelných rozdielov ustali by konvekčné prúdy, poklesávala by tektonicko-vulkanická aktivita, o tejto skutočnosti boli niektoré doklady nadhodené už vyššie. Toto v budúcnosti vyvolá „energickú smrť“ našej planéty. Blízke planéty bez pásmových pohorí slúžia za ilustráciu takýchto úvah.

Slapové sily spôsobujú veľmi pozvoľné pribrzdžovanie, spomaľovanie rotácie Zeme asi 1 sek. za 50 000 rokov. Takto sa deň predlžuje a počet dní v roku postupne poklesol (v devóne asi 400 dní v roku na dnešných 365). Tieto výpočty boli vskutku potvrdené počítaním denných prírastkových vrstvičiek fosílnych koralov (J. H. Wells, 1963). Uvedený proces môžeme teda považovať za nezvratný.

Vo formovaní geosynklinál badať podľa V. Chaina (doslov k prekladu knihy J. Aubouina „Geosynklinály“) postupný nezvratný vývoj geosynklinál od starších k mladším:

a) Zmenšovanie šírky geosynklinálnych trogov,

- b) Ich stúpajúca zložitost,
- c) Viac geantiklinál a stredných medziuhorských masívov (podľa A. L. Janšina a kol., 1966, sú tieto len u mezozoid a alpid),
- d) Skracovanie dĺžky vlastnej geosynklinálnej periódy (urýchlené cykly),
- e) Vzrastanie úlohy flyša a molás (podľa Janšina až v hercýnskom orogéne objavili sa prvé typické čelné predhĺbne),
- f) Slabší iniciálny magmatizmus (alpínsky cyklus),
- g) Menšia intenzita a menší plošný rozsah metamorfizmu,
- h) Rozsiahla epiplatformná orogenéza vo vnútri platformi (hlavne stredná Ázia; táto sa objavuje podľa Janšina až v neogéne a kvartéri).

V poslednej dobe takmer všeobecne bol prijatý názor o rozpínaní zemegule, dokonca pre určité obdobia pokúšajú sa autori stanoviť veľkosť jej polomeru. Je však otázne, či možno tento dej považovať za nezvratný pre celé dejiny zemskej kôry, alebo či majú pravdu tí, ktorí tvrdia, že sa dlhé obdobia expanzie a kontrakcie v dejinách Zeme striedali.

Nezvratný vývoj je veľmi pravdepodobný čo do meniaceho sa zloženia atmosféry Zeme. Z protoatmosféry, ktorej zloženie interpretujeme hlavne zo zloženia atmosfér iných planét, vyvíjala sa dnešná atmosféra pribúdaním kyslíka a ubúdaním kyslíčnika uhličitého. Je pravdepodobné, že pred dvoma miliardami rokov kyslík v atmosfére celkom chýbal (doklady redukčného prostredia sú v horninách archaika — M. Ruten, 1962) a že bol takmer všetok vyprodukovaný až rastlinami. Naopak, množstvo CO_2 bolo ešte v karbone 5–10 × väčšie ako dnes. Jeho zníženie na dnešnú mieru spôsobili rastliny (spotrebúvajú ho a blokujú uhlík v podobe uhoľných slojí) a sčasti aj živočíchy (stavba vápenných schránok, jeho blokovanie do vrstiev vápenca).

Niektorí autori predpovedali zánik života vyčerpaním CO_2 , ktoré sa približne dopĺňa do ovzdušia exhaláciami vulkánov, termálnymi vodami. Výkyvy sa vyrovnávajú z morskej vody, ktorá ho selektívne rozpúšťa (v nej je celková zásoba CO_2 až päťdesiatkrát väčšia ako v atmosfére). V poslednej dobe do tohto zasahuje aj človek opätovným uvoľňovaním CO_2 pri spaľovaní uhlia.

Nejasná otázka je okolo vody. Tu tiež boli názory, že sa jej množstvo stále znižuje, napr. Kant aj Lowell tvrdili, že život zahynie na nedostatok vody, nakoľko sa ona spotrebúva pri zvetrávaní minerálov. Naopak, W. W. Rubey (1955) tvrdí, že vody trvale pribúda z „odplynovania“ roztavených silikátových hornín hlbok, že všetka voda oceánov pochádza vlastne z „dýchania Zeme“.

Jednoznačne kladne je vyriešená otázka nezvratnosti v prípade trvalého zvyšovania sa slanosti svetového oceánu. V proterozoiku salinita oceánov bola okolo 1 ‰, postupne sa zvyšovala na dnešných 3,5 ‰ a hromadenie rozpustných solí v oceáne zrejme pokračuje.

Dôsledkom načrtnutého trendu je aj dlhodobá jednosmerná zmena chemického zloženia sedimentov usadených v mori (A. Vinogradov — A. B. Ronov — V. M. Ratynskij, 1957). Zdôrazňuje sa výrazné ubúdanie dolomitov od paleozoika, ferrolitov od praekambria. Pre Ruskú platformu bolo preukázané progresívne pribúdanie draslíka od mladých ílovitých súvrství; novšie aj vzrast obsahu titanu (A. B. Ronov — A. A. Migdisov, 1971).

Zdá sa, že s pomerne mladým vznikom časti oceánov nastalo nezvratné odčerpávanie CaCO_3 zo zvetrávaco-sedimentačného cyklu. Od kambria do jury bola totiž všetka masa CaCO_3 , transportovaná riekami, ukladaná v plytkých moriach a v dôsledku ich ústupu často opätovne rozrušovaná zvetrávaním. Od údobia kriedy nastal obrovský rozvoj planktonických foraminifer; CaCO_3 sa v kvantách hromadí v hlbomorských sedimentoch včítane novovzniknutého Atlantického oceánu a je tak vyradený z ďalšieho kolobehu.

Tvorba makronafty (ropy ložísk) z „mikronafty“ (rozptýlenej organickej hmoty) deje sa diagenetickým dozrievaním, obohatovaním o uhľovodíky s nízkym bodom varu. Spätý pochod — vytváranie mikronafty z makronafty nejestvuje (N. B. Vassojevič, 1970). Podobne je za nezvratný dej pri tekutých živiciach označovaný vzrast relatívneho množstva parafínov a arómatov na úkor nafténov; ropy z najstarších útvarov majú najmenej nafténov (J. M. Hunt, 1967). E. C. Dapples (1967) konštatuje, že „zmena opálu v chalcedón a kremeň je jednosmer-

ná a nezvratná vo fyzikálnych podmienkach stability pieskovcov“. Podobne v podmienkach diagenézy môžeme pokladať za nezvratnú zmenu aragonitu v kalcit.

Pokiaľ sa sústredíme len na jeden orogenetický cyklus, počet jednosmerných, lineárnych pochodov stúpa. Podľa Z. Rotha (1965) tektonické diferencovanie podľa kompetencie súborov je v rámci jedného orogenetického cyklu nezvratné. Cez vrásový štýl, potom cez diapírový a šupinový štýl dochádza do bradlového štýlu.

Pri psamitoch z jedného orogenetického cyklu dochádza k postupnému dosahovaniu štruktúrnej zrelosti (vytriedenie podľa veľkosti, zaoblenie, odstránenie flovej prímеси, odstránenie ľahko rozložiteľných minerálov). Môže však aj v rámci jedného cyklu vyústiť do štruktúrnej invezie, napr. pri obzvlášť veľkej sile vln stáva sa materiál znovu horšie triedený podľa veľkosti, zrná sa rozpuškávajú (R. L. Folk, 1962). Pri riečnom transporte sa predpokladá nezvratný rast sféricity valúnov, avšak napr. pri valúnoch rohovcov môže nastať opätovné zmenšovanie hodnôt sféricity (E. D. Sned – R. L. Folk, 1958). V štádiách zvetrávania môže dôjsť k spätnému procesu, napr. degradácie lateritov s opätovným vytváraním kaolinitu (Ghana). Na hydrotermálnych rudných žilách termalita roztokov spravidla postupne klesala; môže však znovu vzrásť (rejuvenačné fázy). Niektoré geologické deje sú už definíciou určované ako zvrtné, napr. reverzibilita magnetických pólov Zeme. Epeirogenetické pohyby sú tiež zvrtné, mení sa ich zmysel – stúpanie a klesanie krýh; v protiklade k nim môžeme orogenetické pohyby považovať za nezvratné.

Podobne regionálny metamorfizmus predstavuje nám zvrtný pochod: progresívny metamorfizmus môže byť vystriedaný regresívnym (diaforézou) a prípadne aj znovu progresívnym. V protiklade k tomu kontaktný metamorfizmus patrí k nezvratným dejom. K niektorým dejom, ktoré boli dosť dlho považované za jednosmerné, zistili sa v posledných rokoch zvrtné pochody vyjadrené aj názvami: dolomitizácia-de-dolomitizácia, serpentinizácia-deserpentinizácia.

Z geologických vied iba paleontológia sa zaoberá priamo organickou prírodou a práve ona prináša najlepšie doklady na nezvratnosť vývoja (napr. Dollov zákon ireverzibility: orgány, ktoré stratili svoju funkciu, nemôžu ju už znovu nadobudnúť a v prípade potreby adaptujú sa na tento účel iné orgány). Doklady o vývoji a jeho nezvratnosti sú v paleontológii a biológii početné. Nebudeme sa s nimi zaoberať, iba si ešte všimneme ten fakt, že napr. zmenám v zložení atmosféry sa museli plasticky prispôbovať aj živočíchy, aj rastliny. Atmosféra kambria bola by pre dnešné formy toxická. Či by organizmy boli reverzibilne schopné prispôbiť sa na zmeny smerujúce k pôvodnému stavu, nemôžeme vedieť, lebo takýto pokus trvajúci milióny rokov si pochopiteľne nemôžeme dovoliť.

Geologické procesy nie je možné bezo zbytku redukovat na procesy fyzikálne a chemické. Z tohto dôvodu, popri základných formách pohybu hmoty, definovaných Engelsom, býva novšie osobitne vyčleňovaná geologická forma pohybu hmoty. (M. B. Kedrov, 1959, B. Cambel, 1964).

Zo skúmania geologickej formy pohybu hmoty vyplýva záver, že v dejinách Zeme jestvujú nepochybne aj nezvratné procesy, týkajúce sa Zeme ako 1. astronomického telesa (napr. spomaľovanie rotácie), 2. fyzikálno-chemických vlastností jej povrchového prostredia (atmosféra, oceán), 3. endogénnych síl (ktorých energetický podklad nie je nevyčerpatelný, i keď vôbec vieme odhadnúť, ako ďaleko pokročilo jeho odčerpávanie) a zvlášť výrazne sa prejavuje nezvratnosť, 4. vo vývoji života na nej (vývojová refaz organizmov, ovplyvňovanie sedimentačného prostredia, ich horninotvorná úloha).

Doručené: 2. 2. 1972

Doporučil: Pavol Grecula

LITERATÚRA

- AUBOUIN J., 1965: Geosynclines. Elsevier, Amsterdam—London—New York.
- CAMBEL B., 1964: Geologický vývoj Zeme a vedecký svetonázor. Slov. Pedag. nakladateľstvo, Bratislava.
- DAPPLES E. C., 1967: Diagenesis in sandstones (in G. Larsen — G. V. Chilingar: Diagenesis in sediments). Elsevier, Amsterdam—London—New York.
- ENGELS F., 1950: Dialektika prírody. Nakl. Svoboda, Praha.
- FOLK R. L., 1962: Spectral subdivision of limestone types. Classification of carbonate rocks—Symposium, Memoire No. 1, Amer. Assoc. Petrol. Geol.
- HUNT J. M., 1967: The origin of petroleum in carbonate rocks (in „Carbonate rocks“ ed. G. V. Chilingar — H. L. Bissel — R. W. Fairbridge). Developments in sedimentology 9B, Elsevier, Amsterdam—London—New York.
- CHAIN V. E., — RONOVA A. B., 1960: Paleogeography and litological associations of the Mesozoic Era. Int. Geol. Congr., Pt. XII, Copenhagen.
- JANŠIN A. L. a kol., 1966: Tektonika Evrazii. Izd. Nauka, Moskva.
- KEDROV B. M., 1959: O sootnošenii form dviženija materii v prirode. Filosofskie problemy sovremennogo jestvestvoznaniia, AN SSSR, Moskva.
- MAZAROVIC A. N., 1952: Osnovny regionalnoj geologii materikov II. Izd. Mosk. Univ Moskva.
- PEJVE A. V. — SINICYN V. M., 1960: Nekotoryje osnovnyje voprosy učenija o geosinklinalach. Izv. AN SSSR, Ser. geol. No. 4.
- POTAPOV I. I., 1962: O geologičeskom razvitii Zemli. Geologija i razvedka, 6, Moskva.
- RONOVA A. B. — MIGDISOV A. A., 1971: Geochemical history of Russian and North American Platforms. Sedimentology, 16, 3—4.
- ROTH Z., 1965: Die Tektonik des Westabschnittes der Äusseren Karpaten in der ČSSR. Verh. Geol. Bundesanstalt, Sonderheft G, Wien.
- RUBEY W. W., 1955: Development of the hydrosphere and atmosphere, with special reference to probable composition of the early atmosphere. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 62.
- RUTTEN M. G., 1962: The geological aspects of the origin of life on Earth. Elsevier, Amsterdam—New—York.
- SNEED E. D. — FOLK R. L., 1958: Pebbles in the lower Colorado river, Texas. A study in particle morphogenesis. Journ. Geol. vol. 66.
- VASSOJEVIC N. B., 1971: Istočnik nefi — biogennoje uglerodistroje veščestvo. Priroda, No. 3/71.
- VINOGRADOV A. P. — RONOVA A. B. — RATYNSKIJ V. M., 1957: Variation in the chemical composition of carbonate rocks of Russian Platform. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 12.
- VOJTKEVIČ G. V., 1956: Radiogeologija i jejo značenie v poznanii istorii Zemli. Gos. Naučno-Techn. Izd. Moskva.

On the Question of Reversibility resp. Irreversibility of Geological Processes.

MILAN MIŠIK

Among the discussed geological processes we may consider as irreversible ones some processes concerning the Earth:

1. as an astronomical body (e. g. slowing down of the rotation),
2. the physical — chemical properties of its surface medium (the evolution of the atmosphere, the salinity increase of the oceans),
3. in the gradual moderation of the endogenic energy, the base of which is not inexhaustible, and mainly,
4. in the life evolution of the Earth (the evolution chain of the organisms, Dollo's irreversibility law, the sedimentary environment influenced by plants and animals, and the rock-forming activity of those).