

na toho, na co jsme zvyklí). Jestliže ale pohled vychází z opačné strany, tedy z možností a závazků k ostatním lidem i k matičce Zemi, pak by se měl člověk nad svým počínáním, které vede k rychlému vymírání druhů, přinejmenším zamyslet. Ostatně proč by se mi mělo líbit, že mizí ten svět, o němž jsem přesvědčen, že je hezký, na nějž jsem zvyklý, v němž se cítím doma (jak napsal David Storch) a který bych rád zachoval přinejmenším pro svoje vnuky? Anebo proč bych měl bez mrknutí oka pasivně přihlížet tomu, že při dnešní rychlosti extinkce mají budoucí generace zoologů a botaniků čím dál menší šanci dosáhnout toho, po čem každý (možná) v skrytu prahne, tedy popsat nějaký nový (resp. nový pro vědu) druh nebo vyšší taxon? To raději napíšu do Vesmíru příspěvek na podporu ochranářů a biologické diverzity.

Odpověď autora: Je mi líto, že někdo pochopil můj článek tak, že se v dnešní přírodě nic neděje. Žádná moje představa „nicnedění“ neexistuje, ostatně psal jsem zcela explicitně, že některé změny, jako třeba zvyšování živin v biosféře nebo její homogenizace, jsou bezprecedentní. Jenže ten článek nebyl o těchto zásadních změnách, ale o potížích s odhady globální biodiverzity a jejího úbytku. Mně se taky nelíbí, že se kácejí pralesy a ničí příroda; nikde jsem nena-psal, že se mi líbí, že ten svět, na nějž jsme zvyklí, mizí – naopak, neumím si představit nic horšího. Jenže si vážně myslím, že k tomu, abychom se dokázali k ekologickým problémům odpovědně postavit, o nich musíme hodně vědět. A v případě úbytku diverzity toho moc není. Martin Braniš má naprostou pravdu, že většina ekologů zabývajících se biodiverzitou mluví o jejím bezprecedentním ohrožení, avšak marná sláva, doklady jejich tvrzení považují (právě z důvodů zmíněných v článku) za chabé, a je mi jedno, že se tím

rozcháším s ekologickým „mainstreamem“ – to se zkrátka stává, že někdo tvrdí něco jiného než většina. Ekologie je totiž vědou nikoli přesto, že se různí vědci nemohou dohodnout, ale právě proto. A přestává být vědou v okamžiku, kdy úředně vyhlásí stav bezprecedentního ohrožení biosféry nebo stanoví počet druhů závazný pro tropické pralesy.

Fakt ovšem je, že jsem napsal článek záměrně tak, abych vyvolal diskusi. Byl bych totiž opravdu rád, kdyby někdo přinesl jasné argumenty ať pro to, či pro ono. Zatím se jich nedostává. Plocha tropických pralesů je zřejmě opravdu zatím větší, než byla v glaciálech, a že takhle velká vymírání nebyvala v interglaciálech, znamená pouze to, že úroveň vymírání je asi bezprecedentní z hlediska interglaciálního režimu. A to je výrazně slabší tvrzení, než že dnešní vymírání je srovnatelné s oněmi masovými vymíráními v geologické historii Země. Ale jak říkám: budu vděčný za cokoli relevantního, co se o tom dozvím.

Je zde však hlubší problém. Ekologové velmi neradi slyší, že něco není tak hrozné, jak se říká – sám jsem málem místo předchozí věty napsal „budu velmi rád, když mě někdo přesvědčí o hluboké globální krizi biodiverzity“. Je to pochopitelné, poněvadž jediné pořádné alarm mobilizuje síly nutné k ochraně světa, na nějž jsme si zvykli. Jenže to může být i kontraproduktivní. Takové alarmy totiž vyzdvihují abstraktní kategorie jako „biodiverzita“ nebo „stabilita globálního ekosystému“, v jejichž jménu se může i zapomenout na to, o co jde, tedy na konkrétní jednotlivá živá i neživá jsočina, která konstituují náš svět. Z mého hlediska je důležitější upozornovat na hodnotu, krásu a zajímavost těchto jednotlivostí (hodnotu nejen pozornosti, ale hlavně úcty a třeba i ochrany) než se ohánět málo podloženými čísly, dokumentujícími po způsobu burzovních indexů propady všeho možného.

David Storch

Odpověď na každou otázku

Má Země opravdu železné jádro?

V zemské kůře existují silné vertikální proudy, které zdvihají celé kontinenty. Proč by se takový proud měl zastavit přesně na rozhraní vrstev a nepromíchat materiál kůry?

Uvnitř Země je nulová gravitace. Kdyby separace byla způsobena gravitací, neusazoval by se nej hustší materiál ve středu Země, ale zhruba ve třech čtvrtinách poloměru, kde by gravitace měla být nejvyšší. Navíc když by hustší materiál proudil ze středu Země do tří čtvrtin poloměru, rostoucí hustota materiálu by v závislosti na tlaku vedla k promíchávání. Je známo, že neželezné materiály, které jsou pod silným tlakem, mají vyšší hustotu a vodivost. Podle toho by bylo pravděpodobnější, že železné jádro je definováno spíše dostatečným tlakem než odlišnými prvky. Pokud vím, magnetická pole jiných planet se nelineárně zmenšují v závislosti na velikosti planet.

Mohli byste mi objasnit, co je na mé hypotéze nesprávné? Proč jsou si všichni tak jisti tím, že má Země železné jádro?

Pavel Vrecion, Praha

Geofyzikální znalosti o současné stavbě nitra Země pocházejí především ze seizmologických pozorování a z experimentálních údajů minerálové fyziky vysokých teplot a tlaků. Pomalé dynamické procesy jsou zkoumány pomocí počítačových i experimentálních simulací termální či kompozitní konvekce, tj. pohy-

bů, které jsou vyvolány stoupáním lehčích hmot a klesáním těžších, přičemž příslušné změny hustot jsou způsobeny rozdíly teplot nebo změnami v chemickém složení. K pochopení procesů v Zemi přispívají i obecné fyzikální zákonitosti. Jako příklad si můžeme uvést zákon z teorie potenciálu, který praví, že v každém tělese kulového tvaru, jehož hustota se mění pouze s hloubkou, směřuje gravitační zrychlení v libovolném bodě do středu tělesa. Na rozložení hustot závisí pouze průběh velikosti gravitačního zrychlení, která ve středu tělesa klesá až na nulu, takže její maximum může být jak na povrchu, tak uvnitř tělesa. Pro místo kumulace materiálu je však rozhodující směr gravitačního zrychlení, takže hustší materiály jsou vždy přitahovány k jeho středu. Protože v Zemi se hustota vzhledem k rostoucímu tlaku mění především s hloubkou, lze Zemi v prvním přiblížení považovat za sféricky symetrické těleso, a proto není důvod ke kumulaci hustšího materiálu v mělkých partiích.

Jestliže si chceme přiblížit vlastnosti Země, začneme s šířením vln a s údaji poskytovanými seizmologií. Z fyziky je známo, že v pevných látkách se šíří dva typy elastických vln: podélné (P), které kmitáním částic hmoty ve směru šíření vlny vyvolávají kompresi a dekompresi materiálu, a příčné (S), při kterých částičky hmoty kmitají kolmo na směr šíření vlny. Příčné vlny jsou vzbuzeny pevností materiálu vůči smykovému namáhání, a proto neexistují

Doc. RNDr. Ctirad Matyska, DrSc., (*1958) pracuje na katedře geofyziky Matematicko-fyzikální fakulty UK. Zabývá se globální geodynamikou. (e-mail: Ctirad.Matyska@mff.cuni.cz)

v kapalinách ani v plynech (tam se šíří pouze vlny podélné, nazývané též zvukové). Na rozhraních se skokem mění rychlost šíření vln, a proto se v tomto místě odrážejí, lámou, popř. mění z jednoho typu na druhý. Lze říci, že rozhraní počet vln šířících se tělesem zvyšují. Při zemětřeseních se na seizmických stanicích, které jsou rozmístěny po celém světě, měří doby příchodu jednotlivých vln; víme tedy, jaká je jejich doba šíření k pozorovateli a jak tato doba závisí na jeho vzdálenosti od epicentra zemětřesení. Tato pozorování pak umožňují zjistit, kde jsou v Zemi rozhraní, a sestavit průběh rychlosti šíření vln P a S v závislosti na hloubce, a to s chybou, která nepřesahuje několik procent. Současné znalosti rychlosti šíření seizmických vln jsou natolik dobré, že umožňují i konstrukci lokálních odchylek od základního průběhu s využitím seizmické tomografie (viz Vesmír 75, 245, 1996/5). Při zemětřeseních se však navíc Země rozechvěje podobným způsobem jako zvon, do nějž udeří jeho srdce – zemětřesení vybudí vlastní kmity Země. Vzniká „akord“ složený z řady „tónů“, které jsou sice hluboko pod prahem slyšitelnosti (nejhlubší „tón“ má periodu přibližně 54 minut), ale přístroje jsou schopny je zachytit. Podstatné je, že výšky jednotlivých „tónů“ jsou citlivé nejen na rychlosti šíření vln P a S, ale i na rozložení hustoty. „Posloucháním akordu Země“ se proto podařilo získat i model hustot; z něj se pak odvodil průběh gravitačního zrychlení, a tedy i hydrostatického tlaku. Pravidelný čtenář Vesmíru si mohl povšimnout průběhu všech těchto fyzikálních veličin poskytujících seizmologický model Země – tj. rychlosti vln P a S, hustoty, velikosti gravitačního zrychlení a tlaku ve Vesmíru 77, 90, 1998/2.

„Nejdramatičtější“ rozhraní seizmologického modelu Země, které leží v hloubce 2890 km, odděluje plášť od jádra. Směrem do jádra lze zaznamenat obrovský vzrůst hustot o 4300 kg/m^3 , což je například mnohem více, než činí hustotní skok při přechodu ze zemské atmosféry do zemské kůry, která tvoří svrchní vrstvu Země o mocnosti několika km na oceánech a několika desítek km na kontinentech; pod ní už je zemský plášť. Zajímavé je, že vzhledem k značné hustotě zemského jádra se velikost gravitačního zrychlení v celém plášti mění velice málo a svého maxima $10,7 \text{ m/s}^2$ dosahuje právě na rozhraní s jádrem. Při přechodu do jádra navíc výrazně klesá rychlost vln P, a hlavně mizejí vlny S, což indikuje tekutost vnějšího jádra. Mineráloví fyzici jsou již schopni provádět experimenty i za podmínek, které odpovídají situaci ve spodním plášti a ve vnějším jádře. Vysokotlaké experimenty však neprokázaly, že by v křemičtanech, které tvoří horniny pláště, mohla hustota vzrůst tak drasticky, jak vyžaduje seizmologický model na tomto rozhraní. Geofyzikální obec se proto většinou přiklání k názoru, že rozhraní jádra s pláštěm je způsobeno změnou chemického složení, a nikoliv přechodem křemičtanů do kapalné fáze vykazující vlastnosti kovů. (Odmítnutá hypotéza křemičtanového jádra je přitom značně stará, neboť ji publikoval již r. 1949 W. H. Ramsey. Před padesáti lety však nebylo možné experimentálně ověřovat chování křemičtanových minerálů za podmínek panujících v jádře. Navíc nebyla k dispozici ani pozorování „akordu Země“, takže i představy o závislosti hustoty na hloubce byly zatíženy značnou nejistotou.) Dynamické výpočty ukazují, že při chemickém rozhraní s takto výrazným rozdílem hustot se materiály jednotlivých vrstev nemožno promíchávat; konvekce v plášti či v jádře může pouze poněkud deformovat tvar rozhraní. Jinými slovy, model těžkého jádra a lehkého pláště je stabilní

i v průběhu dynamických konvektivních procesů. Fyzikální příčinou je skutečnost, že objemová teplotní roztažnost i při teplotních změnách o velikosti několika tisíc kelvinů způsobí hustotní změny počítané pouze v procentech, takže z pláště do jádra by mohly pronikat pouze kusy hmoty, které by byly podstatně těžší než okolní křemičtany (tj. měly by anomální chemické složení). Čtenář je nyní možná poněkud překvapen představou, že konvekce probíhá nejen v kapalném jádře, ale i v pevném plášti (šíří se v něm vlny S, což svědčí o jeho smykové pevnosti). Není v tom ale žádný rozpor. Při dlouhodobém zatížení vykazují horniny zemského pláště nevratné deformace („tečou“), kdežto při krátkodobém zatížení reagují elasticky. Proto se v nich šíří oba základní typy elastických vln. Chtěl bych však zdůraznit, že na rozhraní jádra s pláštěm nelze vyloučit existenci chemických reakcí, které mohou vyvolat transport hmoty přes rozhraní, respektive jeho posuvy (viz též Vesmír 77, 78, 1998/2).

Proč je však právě železo horkým kandidátem na místo dominantního prvku v jádře? Existence železných meteoritů naznačuje, že železo je prvek, který je ve sluneční soustavě celkem hojný, což vedlo již po seizmickém objevu zemského jádra k hypotéze, že železo vytváří jádro Země spolu s niklem, další výraznou složkou železných meteoritů. Železo přitom v podstatě vyhovuje i současnému seizmologickému modelu, protože jeho teplota tání je podstatně nižší než teplota tání křemičtanů, což umožňuje vysvětlit, proč má rozhraní jádra s pláštěm vlastnosti kontaktu kapaliny s pevnou látkou; hustota čistého kapalného železa je za tlaků panujících v jádře přitom jen o několik procent vyšší než hustota jádra poskytovaná seizmologickým modelem. Vyjdeme-li tedy z předpokladu, že dominantním prvkem jádra je železo, stačí takový model obohatit ještě o nějaké lehčí příměsi, o jejichž složení se vedou dlouhodobé diskuse. Přítomnost určitého množství křemíku v jádře není vyloučena, další možností je například kyslík vytvářející oxidy železa. Existence takových příměsí by navíc umožňovala vysvětlit, čím může být kromě výnosu tepla poháněna konvekce v jádře, která je spolu s vysokou elektrickou vodivostí jádra podle současných znalostí o chování magnetohydrodynamických systémů nutnou podmínkou pro existenci zemského magnetického pole. V hloubce 5150 km existuje totiž další rozhraní (mezi vnějším a vnitřním jádrem), pod nímž už je rychlost vln S nenulová, takže hovoříme o pevném vnitřním a kapalném vnějším jádře. Toto rozhraní je pak podle seizmologického modelu doprovázeno několikaprocentním vzrůstem hustoty. To vede k představě, že by materiál vnitřního jádra mohl být z čistého železa (nebo železa a niklu), při jehož krystalizaci se lehké příměsi uvolňují a stoupají vzhůru, čímž se stávají zdrojem konvekce ve vnějším jádře. Všechny tyto úvahy samozřejmě podporují hypotézu železného jádra pouze nepřímo, takže nelze vyloučit, že jednou budeme překvapeni nějakým revolučním objevem. Ostatně již v Ottově encyklopedii obecných znalostí se v hesle „Země“ praví: „V jakém stavu je hmota Země uvnitř, je-li vnitro pevné, tekuté či plynné, o tom máme jen domněnky, jež arci se zakládají na pozorování.“

Nakonec bych ještě rád dodal, že jsem záměrně opomenul tazatelovu poznámku o závislosti magnetických polí planet na jejich velikosti, protože se nepovažuji za experta v planetologii. Nejsem si však jist, zda nejde o omyl, protože, pokud se nemýlím, je například Venuše velikostí podobná Zemi, a přitom je její vnitřní magnetické pole zcela mizivé. **Čtírad Matyska**