



vesmír
přírodovědecký časopis
první číslo vyšlo roku 1871 Copyright

Může být něco většího

Vesmír č. 12
vychází 6.12.2007

ČASOPIS

- ARCHIV ČLÁNKŮ
- RUBRIKY
- ČLÁNKY TEMATICKY
- NEJČTENĚJŠÍ
- Z HISTORIE ČASOPISU
- CHCI SI PŘEDPLATIT**

REDAKCE

- AKCE VESMÍRU
- INZERCE
- O REDAKCI
- INFO PRO AUTORY
- PRODUKTY (KNIHY ap.)
- ZEPTEJTE SE
- V SÍTI
- PŘEDNÁŠKY, SEMINÁŘE
- DISKUSE
- INFORMACE O MAILEM

Prosvěcování Země
Seismická tomografie odhaluje horké oblasti

Ctirad Matyska
Publikováno: Vesmír 75, 245, 1996/5

Od konce 19. století se registrují zemětřesení na seismických stanicích rozestých po celém světě. Tím, že seismické vlny „prosvěcují“ tajuplné zemské nitro, poskytují možnost odkrývat krok za krokem jeho tajemství. Prostorové seismické vlny jsou na rozdíl od světla dvojího typu: P-vlny (z latinského *undae primae*) jsou způsobeny kmitáním hornin ve směru šíření a přicházejí na stanice jako první, kdežto S-vlny (z latinského *undae secundae*), které jsou způsobeny kmitáním v rovině kolmé na směr šíření, přicházejí později. Podobně jako světlo se oba typy vln ohýbají, lámou a odrážejí, což umožňuje v Zemi odhalit a studovat nejen geometrii různých rozhraní, ale i průběh seismických rychlostí.

Klasickým příkladem je objev zemského jádra. Roku 1906 Richard Dixon Oldham upozoroval, že P-vlny se v hlubokých partiích Země zpožďují. Svá pozorování vysvětlil existencí zemského jádra, v němž jsou rychlosti P-vln sníženy. Tato představa má však závažný důsledek: P-vlny vstupující do jádra se lámou směrem ke středu Země, a tak v určitých vzdálenostech od epicentra zemětřesení musí existovat stín, do něhož nemohou proniknout. Roku 1912 pak Beno Gutenberg potvrdil existenci stínu v epicentrálních vzdálenostech 105° – 143° a odhadl, že povrch jádra se nachází v hloubce 2 900 km. Tato hodnota se takřka beze změny používá dodnes. Průchod S-vln jádrem pozorován nebyl. Je známo, že vlny kmitající kolmo na směr šíření se nemohou vyskytovat v kapalinách, a tak se začalo hovořit o kapalném jádře a pevném plášti.

V letech 1928 a 1931 byla na stanicích po celém světě zachycena dvě silná novozélandská zemětřesení. Při zkoumání záznamů z těchto zemětřesení byla slečna Inge Lehmannová poněkud zmatena tím, co viděla. Slabé P-vlny dorazily i do stanic, které leží ve stínu. Tyto vlny měly být přece zlomeny a objevit se úplně jinde! Lehmannová si uvědomila, že se do jádra skutečně dostaly, avšak poté se odrazily na nějakém výrazném rozhraní v jeho vnitřku. Nakonec došla k závěru, že Země má ještě vnitřní pevné jádro v hloubce 5 120 km, a r. 1935 svou hypotézu publikovala. Později bylo upřesněno, že povrch jádra se nachází o 30 km hlouběji. Geofyzikové tak začali budovat model Země složený z několika odlišných vrstev. Má pevné jádro a kapalně

INFORMACE E-MAILEM

✉ napište nám

Přihlásit
Registrovat

Přírodovědecký časopis
© Vesmír
Vesmír, spol. s r. o.
ISSN 1214-4029

jadro, které je obaleno tlustým pevným pláštěm. Na plášti je jako skořápka křehká zemská kůra o mocnosti několika desítek kilometrů. Seizmologové později rozdělili i plášť, a to na svrchní (sahající do hloubky 670 km) a spodní. Spodní plášť je už podroben mimořádným tlakům; v horních partiích je 240 000krát větší než tlak atmosférický a na cestě k jádru vzroste ještě víc než pětkrát. Díky tlakům rostoucím s hloubkou rostou pomalu i rychlosti seizmických vln a při rozhraní s jádrem dosahují svých maximálních hodnot – P-vlny 13,7 km/s a S-vlny 7,3 km/s. Při vstupu do jádra klesá rychlost P-vln na 8 km/s a S-vlny se jádrem vůbec nešíří, kdežto v jádru S-vlny vzniknout mohou, a to přeměnou z P-vln. Není divu, že tak rozdílné chování seizmických vln v plášti a v jádře vedlo k závěru, že i chemické složení se musí na jejich rozhraní dramaticky měnit. Nyní panuje vcelku obecná shoda v tom, že jádro i jádérko jsou tvořeny převážně železem, kdežto základem materiálu pláště jsou silikáty.

Ve srovnání se spodním pláštěm je svrchní mnohem lépe prozkoumán. Pokles rychlostí S-vln i P-vln v rozmezí hloubek 80 až 220 km naznačuje, že horniny svrchního pláště jsou zde mimořádně měkké – možná i částečně natavené. Tato měkká vrstva se proto nazývá astenosféra, oslabená vrstva (ř. *asthenes* – slabý). Leží pod vrstvou tvořenou pevnými tektonickými deskami, nazývanou litosféra (ř. *lithos* – kámen). Litosféra, astenosféra a hlubší partie svrchního pláště tak připomínají části dobře promazaného sendviče, kdy astenosféra umožňuje klouzání litosférických desek vzhledem ke zbytku pláště. V hloubkách 400 až 670 km pak seizmické rychlosti rostou natolik výrazně, že to nelze vysvětlit pouze rostoucím tlakem. Laboratorní pokusy s minerály, které se mohou vyskytovat v horninách svrchního pláště, ukazují, že v rozmezí tlaků odpovídajících těmto hloubkám v nich dochází k fázovým přechodům způsobeným přestavbou krystalické mřížky, a proto se tato část svrchního pláště nazývá přechodová zóna. Ve výsledném vrstevnatém modelu Země se rychlosti seizmických vln mění skokem pouze na rozhraních mezi výše zmíněnými vrstvami, zatímco uvnitř vrstev se spojitě mění s hloubkou. Tento model natolik dobře vystihuje skutečnost, že umožňuje předpovědět doby šíření vln z ohniska zemětřesení do seizmických stanic celosvětové sítě s pouhými vteřinovými chybami.

S příchodem deskové tektoniky, která prokázala, že povrch Země je v neustálém pohybu, si geofyzikové stále zřetelněji uvědomovali, že Země připomíná velkolepý stroj, který od jádra až k povrchu pracuje na tom, aby se zbavil svého přebytečného tepla. Teplo v Zemi pochází z rozpadu radioaktivních prvků a patrně i ze snižování gravitační potenciální energie během jejího vývoje. To, jak se teplo uvolňuje, jak nutí horniny do pohybu, je klíčem ke všem globálním změnám naší planety. Uvnitř Země tedy musí být něco více než pouhé koncentrické vrstvy. Je to podobná situace, jako kdybychom se při výzkumu atmosféry po desetiletí soustředili na popis jednotlivých vrstev – troposféry, stratosféry atd. – a pak bychom náhle zjistili, že existuje vítr. Jaké jsou důsledky takových „podzemních větrů“ na šíření vln? Místa v plášti, která jsou o něco teplejší nebo tekutější, trochu zpomalí průchod vln. Obdobně chladnější, pevnější místa je nepatrně urychlí, a tak se můžeme něco dozvědět o horninách, jimiž vlny prošly, pokaždé, když se rychlost šíření odchýlí od průměrných hodnot.



Problémem však je, jak takové nepatrné odchylky určit. Geofyzikové si uvědomili, že k pohledu dovnitř zemského tělesa si mohou od lékařů vypůjčit metodu, která je už léta využívána k nahlížení do lidského těla – tomografii. Při tomografickém vyšetření rotuje kolem pacienta zdroj rentgenových paprsků. Paprsky pronikají tělem a na druhé straně jsou zachycovány řadou detektorů. Během své cesty jsou však také pohlcovány. Některé tkáně, jako kosti nebo nádory, pohlcují paprsky více než jiné tkáně a vrhají tak na detektory tmavší stín. Informace skrytá ve velkém množství protínajících se paprsků je zpracována počítačem a vede k rekonstrukci třírozměrného tomografického obrazu vnitřních orgánů pacienta.

Seizmologové nahradili rentgenové paprsky seizmickými vlnami a použili podobný postup, aby zviditelnili zemské nitro. V seizmické tomografii, jak se nová metoda začala nazývat, se soustředili na dobu průchodu vln. Seizmická vlna může být v jednom místě zpožděna a v jiném naopak urychlena, takže v sobě skrývá souhrnnou informaci o rychlostech podél celé své dráhy. Kombinování dob příchodů z desítek tisíc paprsků bohatě křížujících celou Zemi pak v principu umožňuje získat její vnitřní obraz. To, zda bude obraz jasný

a kontrastní, či zda bude spíše připomínat skvrnitě detaily z pláten impresionistů, závisí nejen na množství a kvalitě dat, ale i na tom, zda se data zpracují vhodnou metodou.

První publikoval trojrozměrnou „mapu“ pláště založenou na seizmické tomografii r. 1977 Adam Dziewonski z Harvardovy univerzity. Byl však přijat s velkou skepsí. Jeho kolegové nevěřili, že mapa zobrazuje něco jiného než pouhý šum v datech. I Dziewonski si uvědomoval, že v jeho postupu je velký prostor pro další zlepšování. Brzy přišel na to, jak využívat také bohatství digitálních dat z nově budovaných seizmických sítí, tj. jak využívat celé seizmogramy a nejen doby příchodu jednotlivých vln. Se svým kolegou Johnem Woodhousem začal pracovat na novém modelu a výsledky pak publikovali r. 1984. V téže době Dziewonski spolu s geochemikem Donem Andersonem z Kalifornské techniky uveřejnili propagační předpověď: „Věříme, že tyto výsledky označují počátek revoluce ve vědách o Zemi. Poprvé můžeme vidět v hlubinách zemského nitra detaily, které vrhají nové světlo na původ povrchových jevů, jako jsou středooceánské hřbety nebo záhadné horké skvrny, např. Havaj nebo Island.“

Jedním z nejpozoruhodnějších rysů harvardského modelu je pás studeného materiálu, sahající takřka bez přerušení od povrchu až k rozhraní mezi jádrem a pláštěm. Leží pod okrajovými oblastmi Pacifiku tvořenými tzv. pásmem ohně, které je seizmicky a vulkanicky aktivní, protože se tam oceánské litosférické desky zanořují pod kontinenty. V podpovrchových partiích model ukazuje též horký materiál pod středooceánskými hřbety v Atlantiku, Pacifiku a Indickém oceánu. Tyto oblasti horkých hornin jsou tak úzce spjaty s hřbety neustále vylévajícími magma, že patrně fungují jako jejich zásobárny. Jsou to však pouze mělké struktury, které, na rozdíl od studených hmot, nepokračují hluboko do nitra pláště Země. Místo toho jsou u dna spodního pláště pod Afrikou a Pacifikem patrné obrovské struktury stoupajícího horkého materiálu, které se podobají ohromným obráceným kapkám. Jsou hodně daleko od středooceánských hřbetů a nemají žádný vztah ani k hranicím tektonických desek, ani k rozložení kontinentů a oceánů. Představa konvekce v plášti, založená na analogii s jednoduchými konvekčními buňkami, dobře známými z hrnce polévky zahříváného na kamnech, je proto patrně nedostatečná.

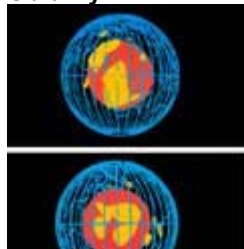
S přílivem nových dat probíhá nejen neustálá inovace harvardských modelů, ale objevují se nezávislé studie dalších skupin. Každý nový model zlepšuje rozlišení a jednotlivé struktury se stávají zřetelnějšími. Dziewonski začal dávat objeveným strukturám i jména, například „Velký africký hřib“ nebo „Rovnicková skupina pacifických hřibů“. Nová jména připomínají dny, kdy skotský misionář David Livingstone nebo český lékař Emil Holub putovali neprobádanými končinami černého kontinentu; dnešní cestovatelé mapují nitro naší planety a seizmická tomografie osvětluje stále více jeho temných zákoutí. ¹⁾

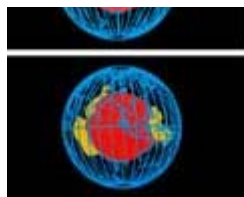


Literatura

P. Jakeš: Jádro a jádérko Země – Perspektiva kosmická, Vesmír **71, 73, 1992/2**

Obrázky





Poznámky

1) K napsání článku mě inspirovala kniha S. Vogelové *Obnažená Země* (vyd. Dutton 1995), která přibližuje čtenáři obraz dynamické Země a ukazuje i zaujetí lidí zabývajících se jejím nitrem. Přál bych každému autorovi popularizačních článků, aby se mu dařilo poskytovat tolik výstižných a srozumitelných informací, jako se to daří mladé novinářce S. Vogelové.

[tisk článku](#) [vložit komentář](#) [0]

[Home Page](#) [Nahoru](#)

Vesmír® 2003

[Aktuální číslo](#)