



1. ZEM - STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA

Zem je planétou slnečnej sústavy. Patrí medzi takzvané vnútorné planéty – je treťou čo do vzdialenosti od Slnka. Vznikla kondenzáciou kozmických častíc a jej vek sa odhaduje na $4,7 \cdot 10^9$ rokov. Má tvar rotačného elipsoidu s rovníkovým polomerom 6 378 140 m. Celkový povrch Zeme predstavuje $510\,070\,000 \text{ km}^2$, z čoho pripadá na súš 29,2 % a na moria 70,8 %.

Hmotnosť Zeme je $5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Hlavnú časť tvorí zemské jadro - $1,9 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ spolu so zemským plášťom - $4,1 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Na atmosféru pripadá $5,3 \cdot 10^{18} \text{ kg}$, biologická hmota tvorí $1 \cdot 10^{15} \text{ kg}$ a hydrosféra $1,4 \cdot 10^{21} \text{ kg}$. Zem patrí medzi planéty s vysokou hustotou; jej stredná hustota, vypočítaná z hmotnosti Zeme zistenej z hodnoty zemského zrýchlenia a jej objemu, je $5\,515 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Z pohľadu skupenského zloženia obsahuje vo významnom zastúpení všetky tri zložky. I keď hlavné štruktúrne jednotky Zeme sa vyznačujú určitou charakteristickou prevahou niektorej z týchto zložiek, všeobecne je možné v nich dokumentovať zastúpenie látok vo všetkých troch skupenstvách. Napríklad v atmosfére, pri prevahe plynného

skupenstva sa nachádzajú aj tuhé prachové častice a kvapalnú aerosólovú zložku; v hydrosfére sa okrem kvapaliny nachádzajú pevné častice v podobe sedimentov a plynné látky v podobe rozpustených plynov.

V literatúre uvádzané údaje o chemickom zložení Zeme vychádzajú z hypotetického predpokladu o zložení zemského jadra: Fe – 35 %, O – 30 %, Si – 15 %, Mg – 13 %, Ni – 2,4 %, S – 1,9 %, Ca – 1,1 %, Al – 1,1 %, Na – 0,57 %, Cr – 0,26 %, Mn – 0,22 %, Co – 0,13 %, P 0,1 %, K – 0,08 % a Ti 0,05 %. Približný obsah prvkov v zemskej kôre ukazuje obr. 1.01.; detailnejšie údaje sú uvedené v kapitole 3.

[Obr. 1.01.](#) Obsah chemických prvkov v zemskej kôre (uvedené v hmot. %)

1.1. Vznik a vývoj planéty

Súčasne akceptovaná hypotéza o postupnosti vývoja planéty predpokladá v prvom stupni vznik zemského jadra a zemského plášťa, ďalej vznik atmosféry, vznik zemskej kôry a konečne vytvorenie hydrosféry a vznik biosféry.

Súčasné teórie vzniku Slnčnej sústavy predpokladajú rovnaký genetický základ všetkých planét. Vychádzajú najmä z faktu o rovnakom smere pohybu dnešných planét ako aj z informácií o ich chemickom zložení. Predpokladá sa, že Zem vznikla spolu so Slnkom a ostatnými planétami slnečnej sústavy z obrovského hviezdneho mraku, ktorý bol tvorený prevažne z vodíka, hélia a menšej časti hmoty obsahujúcej ťažšie prvky. Z dôvodov, ktoré doteraz nie sú celkom známe, sa tento mrak začal otáčať okolo svojho stredu. Postupne sa rýchlosť rotácie zvyšovala, pričom veľká časť hmoty bola gravitáciou priťahovaná do jej stredu. V dôsledku obrovskej energie rotujúceho stredu, spolu s vysokým stupňom koncentrácie hmoty v jadre, vznikli podmienky pre priebeh termonukleárnej fúzie vodíka na hélium.

V relatívne krátkej dobe po vytvorení protoslnka, v dôsledku náhleho poklesu teploty, začala hmota obiehajúca okolo protoslnka postupne tuhnúť a vytvorila drobné častice pravdepodobne s veľkosťou pohybujúcou sa v rozsahu menej ako 1 μm až po 1 mm. Tieto častice sa postupne skoncentrovali v jednej protoplanetárnej rovine, vytvárajúc tak predpoklady pre ich gravitačnú aglomeráciu. Takto, najskôr vznikli balvany s veľkosťou asi 100 m a neskôr planéty, približne s veľkosťou Mesiaca. Súčasné modelové

výpočty ukázali, že po dosiahnutí určitej kritickej hmotnosti planét došlo k vychyľovaniu ich dráh z pôvodnej jednej roviny. Také zmeny dráhy však zvyšovali počet vzájomných zrážok planét, v dôsledku ktorých sa tento proces ešte urýchlil. Predpokladá sa, že táto fáza vzniku Slnčnej sústavy začala v dobe keď okolo Slnka obiehalo asi 100 planét. Následná rýchla fáza vzájomných zrážok planét mala za následok postupné znižovanie ich počtu, pričom dochádzalo k postupnej selektívnej distribúcii rôznych foriem hmoty medzi jednotlivé planéty a v konečnom dôsledku sa odrazila na chemickom zložení planét. V dôsledku veľkého počtu dopadajúcich meteoritov, ktorým bola Zem vystavená najmä prvých 500 miliónov rokov a jednak rozpadom nestabilných rádioizotopov, vznikla na Zemi súvislá tavenina magmatických oceánov. V tejto tavenine, ktorá vznikla z pôvodne chladného materiálu, nastalo selektívne vrstvenie látok. Postupná gravitačná diferenciácia hmoty spôsobila sústreďovanie ťažkých prvkov v jej strede; naopak látky s nižšou hustotou tvorili vrchné vrstvy. Vrstevnatá štruktúra Zeme je spôsobená diskontinuálnou zmenou hustoty látok, tvoriacich zemské teleso. Najstaršie horniny na Zemi sa formovali asi pred 3,8 miliardami rokov.

Prítomnosť ľahkých, plyných zložiek v atmosfére sa vysvetľuje postupným zvyšovaním zemského gravitačného poľa. Prvotná atmosféra obsahovala vodík, hélium, amoniak a metán. V dôsledku nízkej gravitácie Zeme, najľahšie plyny – vodík a hélium, unikli do okolia. Vysokoteplotný rozklad tuhých látok, tvoriacich vonkajšie vrstvy zemského telesa mal za následok uvoľňovanie oxidu uhličitého, dusíka a vodných pár. Vodné pary tvorili hlavnú časť takzvanej druhotnej, predaktualistickej, atmosféry. Jej redukčný charakter určovala absencia významnejších množstiev kyslíka. Súčasné zloženie (aktualistickej) atmosféry je charakterizované vysokým obsahom kyslíka. V tomto stave je stabilizované asi od začiatku druhohôr a je dôsledkom činnosti biosféry. Predpokladanú dynamiku zmien zloženia atmosféry ukazuje obr. 1.02.

Vznik a existencia hydrosféry je spojená s postupným ochladzovaním zemského povrchu pod hodnotu kondenzačnej teploty vodných pár. Etapa vývoja Zeme do tohto obdobia sa označuje ako anhydričné obdobie. Vytvorenie súvislej vodnej plochy v praoceánskom období sa klasifikuje ako začiatok geologickej etapy vývoja Zeme. Vznik prvých biologických štruktúr sa odhaduje do obdobia spreď 3,5 miliardy rokov.

[Obr. 1.02. Zmeny zloženia zemskej atmosféry](#)

1.2. Stavba a chemické zloženie Zeme

Súčasnú predstavu o stavbe Zeme sa opierajú jednak o výsledky priamych metód pozorovania, ku ktorým patria hlavne banské a vrtné práce, ako aj štúdium hornín vynesných na povrch Zeme pri horotvornej a sopečnej činnosti. K nepriamym metódam patrí hlavne gravimetria a seizmické metódy. Prvá skupina metód dáva informácie najmä o stavbe zemského plášťa, nepriame metódy sa využívajú pre sledovanie hlbších častí Zeme. Súčasnú poznatky o zložení zemského jadra majú charakter vedeckých hypotéz.

V súčasnosti je akceptovaný takzvaný trojvrstvový model stavby zemského telesa, ktorý sa opiera o výsledky seizmických meraní. Ich princíp je založený na možnosti lokalizácie významných zmien v zložení Zeme, ktoré spôsobujú zmeny rýchlosti šírenia seizmických vln v zemskom telese (obr. 1.03. a obr. 1.04.) Na základe takto identifikovaných diskontinuálnych oblastí sa tieto hlavné vrstvy označujú ako: zemská kôra, zemský plášť a zemské jadro. V každej z týchto vrstiev sa touto istou metodikou zistilo ešte ďalšie, jemnejšie delenie týchto vrstiev (obr. 1.05.).

[Obr. 1.03.](#) Šírenie seizmických vln v homogénnom telese (vrchný obrázok) a v telese so zvyšujúcou sa hustotou smerom k jeho stredu (spodný obrázok)

[Obr. 1.04.](#) Princíp identifikácie diskontinuit v zemskej kôre

[Obr. 1.05.](#) Vnútoraná stavba Zeme

Zemské jadro sa delí na vnútorné jadro, prechodnú zónu a vonkajšie jadro. Na základe analógie so zložením železných meteoritov sa predpokladá, že hlavnú časť jadra tvorí železo a nikel. Paralelne však existujú hypotézy, ktoré predpokladajú, že jadro je tvorené zmesou kremičitanov, ktoré však v dôsledku vysokých teplôt a tlakov majú vzhľadom k ich nízkoteplotným formám neobvyklé vlastnosti. Predpokladá sa, že i napriek vysokej teplote (3 000 až 4 000 °C) je vnútorné jadro, na rozdiel od kvapalného vonkajšieho jadra, v tuhom stave. Predpokladaná hustota zemského jadra je 8 000 až 12 000 kg.m⁻³.

Zemský plášť sa podľa vertikálneho zloženia delí na spodný plášť, prechodnú zónu a vrchný plášť (obr. 1.05.). Spodný plášť je lokalizovaný v hĺbke od 950 do 2 900 km a pravdepodobne je zložený z kremičitanov a oxidov kremíka, železa, hliníka a horčíka. Prechodná zóna sa nachádza v hĺbke 410 až 950 km a je zdrojom veľmi hlbokých

zemetrasení. Vrchný plášť sa nachádza nad plochou diskontinuity v hĺbke 410 km a tvoria ju dve vrstvy. V jej spodnej časti je asi 300 km hrubá vrstva tekutej, viskóznejskej astenosféry. Na tejto vrstve sa nachádza pevná vrstva litosféry, ktorá zahŕňa aj vrstvu zemskej kôry. Chemické zloženie vrchného plášťa nie je známe; predpokladá sa, že má vysoký obsah ultrabázických hornín.

Zemská kôra je vrchná a najtenšia vrstva zemského telesa. Stredná hustota zemskej kôry je 2 700 – 2 800 kg. m⁻³. Jej hrúbka sa líši v závislosti od toho, či sa nachádza pod pevninou alebo oceánskym dnom. V prvom prípade jej priemerná hrúbka je asi 35 km, v druhom prípade sa pohybuje od 6 do 8 km. Pevninská kôra sa člení na vrstvu sedimentov, vrstvu granitovú (žulovú) a vrstvu bazaltovú (čadičovú). Oceánska kôra sa člení na sedimentárnu vrstvu, obsahujúcu nespevnené sedimenty, bazaltovú, pozostávajúcu hlavne z oceánskych čadičov a takzvanú tretiu oceánsku vrstvu, obsahujúcu gabrá a iné bázické horniny.

[Obr. 1.06.](#) Pohyby litosférických dosiek; **a** – konvergentný, **b** – divergentný, **c** – laterálny

1.3. Teória litosférických dosiek

Teória tektoniky litosférických dosiek je jednou z takzvaných geotektonických hypotéz, ktorou je možné vysvetliť hlavné geodynamické procesy a zároveň aj dnešné geologické štruktúry. Tieto procesy sú zodpovedné za súčasnú podobu zemského povrchu, jeho geologickú stavbu a mineralogické a chemické zloženie. Sú to procesy, ktoré predstavujú najmohutnejšie javy transportu a premien prírodných anorganických materiálov. Zároveň tieto geodynamické procesy ovplyvňujú seizmickú a vulkanickú aktivitu na Zemi, ktorá odjakživa svojimi priamymi, ale aj sekundárne vyvolanými následkami zásadne ovplyvňovala kvalitu životného prostredia.

Podľa teórie litosférických dosiek nie je litosféra tvorená kompaktnou súvislou vrstvou, ale je rozdelená na šesť litosférických dosiek s približnou hrúbkou 100 až 120 km a asi 15 menších dosiek, ktoré sa veľmi malými rýchlosťami (1 až 2 centimetre za rok), pohybujú po plastickej vrstve astenosféry. Názvy hlavných geologických blokov sú: euroázijská, africká, americká, pacifická, indoaustrálska a antarktická doska. Napriek veľmi malým rýchlostiam pohybu litosférických dosiek, v priebehu geologického vývoja

Zeme, významným spôsobom zmenili pôvodné rozmiestnenie kontinentálnej a oceánskej časti zemského povrchu.

Príčiny pohybu litosférických dosiek sa vysvetľujú pohybom podložnej tekutej astenosféry, pravdepodobne v dôsledku teplotných fluktuácií, označovaných tiež ako termálne anomálie plášťových hmôt. Existujú tri hlavné typy zmeny vzájomnej polohy týchto blokov - divergentný, konvergentný a laterálny (obr.1.06.). Divergentný pohyb litosférické dosky vzdáľuje a má za následok vytvorenie riftovej doliny s chrbtom v strednej časti doliny. U konvergentných pohybov sa dosky pohybujú smerom k sebe, pričom môžu nastať dva prípady. V prvom dochádza k podsúvaniu jednej vrstvy pod druhú (tento jav sa nazýva subdukcia) alebo dochádza k narazeniu oboch dosiek na seba, čo vyvoláva vyvrásnenie pásmového pohoria. Laterálny pohyb je posun dosiek v horizontálnom smere.

Environmentálne dôsledky pohybu litosférických dosiek sú značné, pretože vysoká seizmická a vulkanická činnosť, ktorá je koncentrovaná práve v zónach styku týchto dosiek, je spojená s množstvom negatívnych zmien do životného prostredia. Vulkanická činnosť je napríklad zdrojom toxických, plyných a pevných exhalátov. Seizmická a vulkanická činnosť boli počas histórie ľudstva príčinou mnohých ekologických katastrof. Posledná z nich, zo začiatku roka 2005, spôsobila devastáciu pobrežných zón Indonézie, Indie, Thajska, Sri Lanky a Malajzie; celkový počet obetí sa odhaduje na takmer 300 000.

Obr. 1.07. V zónach kontaktu litosférických dosiek je možné pozorovať zvýšenú seizmickú a vulkanickú činnosť. Oba javy majú často obrovské ekologické následky. Obrázok ukazuje následky zemetrasenia v Iráne v roku 2003; v pravom rohu je vidieť priebeh zóny kontaktu africkej a euroázijskej litosférickej dosky. Zemetrasenia v tejto oblasti sú spôsobené konvergentným pohybom oboch dosiek.