

---

# 15 Geografický prostor a jeho zákonitosti

Studium jevů a procesů ve fyzickogeografické sféře Země ukazuje, že jsou vyvolány a udržovány v podstatě dvěma skupinami faktorů. **Faktory první skupiny (vesmírné)** působí obecně na všechna tělesa sluneční soustavy a jejich intenzita je v konkrétním případě určována polohou tělesa uvnitř soustavy, zejména vzhledem ke Slunci. **Faktory druhé skupiny (planetární)** mají specifický ráz a jsou určeny individuálními zvláštnostmi dané planety, tj. např. jejím magnetickým a tíhovým polem, atmosférou atd. Spolupůsobení vesmírných a planetárních faktorů vytváří na každé planetě určitý systém přírodních jevů, který v případě Země označujeme názvem fyzickogeografická sféra. K interakci faktorů vesmírných a planetárních (tj. zemských faktorů v případě Země) dochází jednak přímo ve fyzickogeografické sféře, jednak mimo ni. Vycházejí z těsných závislostí mezi procesy vně a uvnitř fyzickogeografické sféry rozpracoval M. M. JERMOLAJEV (1967, 1969) pojem geografického prostoru.

---

## 15.1 Geografický prostor a jeho struktura

---

**Geografický prostor** je definován jako část vesmíru, v němž Země vytváří speciální pole, podmíněná její přítomností a individuálními vlastnostmi jako konkrétní planety. Tato pole (např. tíhové, magnetické) komplikují normální strukturu meziplanetárního prostoru a vyvolávají specifické procesy, které jsou důsledkem interakce zemských a vesmírných faktorů.

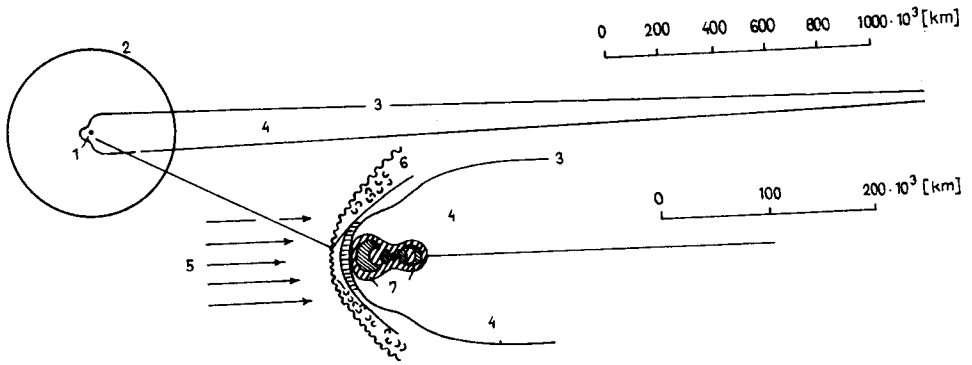
Charakteristickou zvláštností geografického prostoru je to, že procesy, k nimž dochází v jeho **horní části** podmiňují samotnou možnost výskytu těch složek fyzickogeografické sféry, které jsou charakteristické právě pro Zemi, zatímco procesy, které probíhají v jeho **dolní části**, řídí rozložení těchto složek na Zemi a jejich vývoj. Tak za účasti prvně jmenovaných procesů došlo např. k přeměně původní atmosféry v současnou, vznikly biologické jevy atd. Procesy druhé kategorie pak vytvořily konkrétní krajiny, tvořící fyzickogeografickou sféru Země.

Geografický prostor, za jehož **dolní hranici** lze považovat přibližně Mohorovičicovu diskontinuitu a za **horní hranici** magnetopauzu, asymetricky obepíná naši planetu a je protažený ve směru působení slunečního větru (obr. 15.1). Podle charakteru procesů, které v něm probíhají, ho lze rozdělit na čtyři nad sebou ležící části:

a) **Blízký vesmír**, jímž se geografický prostor stýká s meziplanetárním, sahá od magnetopauzy až do výšky 2000–1500 km nad zemským povrchem. Jde o oblast, kde se prolíná působení vesmírných faktorů v dosahem gravitačního a magnetického pole naší planety.

b) **Vysoká atmosféra** je ze strany Země ohraničena ozonosférou. Ve vysoké atmosféře dochází především k **pohlcování velkých kvant energie** (včetně kvant zhoubného ultrafialového záření).

c) **Fyzickogeografická sféra** se rozkládá od ozonosféry až po zemský povrch a zahrnuje i **oblast hypergeneze** v litosféře (tj. oblast zvětrávání hornin, dosahující tloušťky desítek až stovek metrů).<sup>1)</sup> Základním energetickým zdrojem je zde ta část slunečního záření, která je propouštěna zemskou atmosférou. Ve fyzickogeografické sféře je možný **vznik a rozvoj života a biologických**



15.1 Geografický prostor (podle M. M. JERMOLAJEVA, 1969).  
 Označení: 1 – Země, 2 – oběžná dráha Měsíce, 3 – magnetopauza, 4 – geografický prostor, 5 – sluneční vítr, 6 – turbulentní přechodná oblast, 7 – oblast zvýšené radiace kolem Země s vnitřním (protonovým) a vnějším (elektronovým) radiačním pásem

**procesů zemského typu.** Uskutečňuje se zde složitý **cyklus oběhu hmoty a energie**. Protože jde o část geografického prostoru nejjintenzivněji využívanou a přetvářenou lidskou společností, lze ji ztotožnit v souladu s částí 1.1 s krajinnou sférou Země.

d) **Spodní kůra** je součástí zemské kůry od spodní hranice zóny hypergeneze až po Mohorovičičovu diskontinuitu. Jde o **oblast působení endogenních faktorů**, vytvářejících prvotní reliéf naší planety.

Jednotlivé části geografického prostoru jsou spolu úzce spjaty tak, že libovolná změna v jedné z nich může vést ke změně rozsahu nebo ke změně intenzity procesů charakteristických pro danou část, příp. i ke vzniku nových nebo k likvidaci dřívějších procesů.

## 15.2 Některé důsledky působení vesmírných a zemských faktorů v geografickém prostoru

V geografickém prostoru se ze všech vesmírných faktorů nejvýznamněji uplatňuje **vliv Slunce**. Slunce neustále vysílá na všechny strany (a tedy i k Zemi) tok zářivé energie, který působí buď přímo nebo nepřímo jak na organickou, tak i anorganickou složku krajinné sféry Země. V **biosféře** vyvolává sluneční záření **životně důležité procesy – vidění, fotoperiodismus a fotosyntézu**. Při všech těchto procesech jsou fotony záření pohlcovány pigmentem chromoforem. Např. vidění je zprostředkováno purpurovým pigmentem sítnice (druh vitamínu A vázaný na bílkovinnou molekulu zvanou opsin), který při excitaci zářením mění svoji strukturu (tato změna je základem **vidění**). Z celkového spektra slunečního záření vnímá sítnice jen fotony světelné. S viděním souvisí schopnost mnoha živočichů orientovat se podle Slunce (např. některé druhy tažných ptáků).

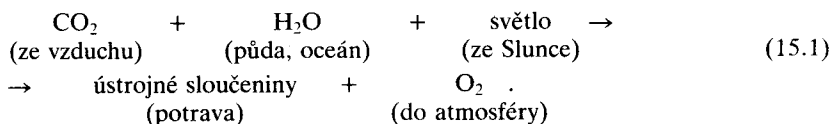
Významnou roli v životních pochodech rostlin a živočichů hraje **fotoperiodismus**. U rostlin se při ozáření mění struktura příslušného chromoforu (tzv. fytodron). Fytodron se tvoří v rostlinách

<sup>1)</sup> Omezení fyzickogeografické sféry v pojetí JERMOLAJEVA spodní hranicí zóny hypergeneze se liší od pojetí fyzickogeografické sféry, které bylo uvedeno v části 1.1, podle něhož do ní řadíme celou vrstvu zemské kůry až po Mohorovičičovu diskontinuitu.

za tmy a světlem se rozkládá. S těmito změnami souvisí citlivost rostlin na délku dne spolu s průvodními jevy jako jsou pohyby listů, zavírání a otevírání květů, růst atd. U živočichů se fotoperiodismus projevuje např. změnami chování během dne. Pod vlivem slunečního záření na hormonální a enzymatickou činnost nastává tzv. **cirkadiální cyklus**, kdy v průběhu 24 hodin se u vyšších živočichů mění krev a její oběh (srážlivost, tlak, puls atd.), rychlost dýchání, teplota těla atd.

Při vidění a fotoperiodismu je sluneční záření pouze podnětem, který vyvolává procesy udržované energií samotného organismu. Opakem je fotosyntéza, kdy je zářivé sluneční energie využito k syntéze látek nezbytných pro biosféru. Sluneční energie vstupuje do biosféry prostřednictvím rostlin se zelení listovou (chlorofylem).

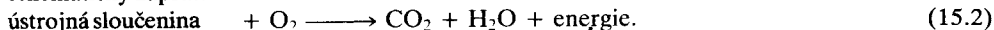
**Fotosyntézu** (doslova „skládáním pomocí světla“) se rozumí **skládání ústrojných sloučenin v zelených rostlinách pomocí chlorofylu**. Molekula chlorofylu, která je složená z atomů C, H, N, O a Mg, řídí fotosyntézu podle schématu:



Energie vázaná fotosyntézou do ústrojných látek se skládá jednak z části, kterou zelené rostliny potřebují pro své vlastní pochody, a jednak z části ukládané do organických látek v nové tkáni, odkud může kdykoliv vstoupit do potravního řetězce biosféry.

Celková **roční produkce organických látek fotosyntézou** je asi  $2 \cdot 10^{14}$  kg v sušině. Při průměrném spalném teple  $16 \cdot 10^6$  J na 1 kg sušiny představuje roční fotosyntéza přeměnu asi  $3,2 \cdot 10^{21}$  J sluneční energie v energii chemickou, což činí asi 1 ‰ dopadající sluneční energie (J. KLECZEK, 1973, 1981).

Za normální teploty jsou **ústrojné látky** vytvořené zelenými rostlinami stálé. Při vysoké teplotě se **slučují s kyslíkem** ze vzduchu a vydávají svou chemickou energii ve formě tepla, což lze schematicky zapsat:



Tento proces platí nejen pro uvolňování energie v živých organismech, ale i pro hoření. Výsledné produkty se vracejí do zelených rostlin a pomocí listové zeleně mohou opět vázat sluneční energii. Uvolněná energie může být přeměněna na tepelnou (např. na udržování stálé teploty těla savců), mechanickou (např. při práci svalů) nebo v elektrickou (např. tepelné elektrárny), konečná *forma uvolněné energie z biosféry je však v podobě tepelné energie*.

Lze tedy konstatovat, že sluneční energie zachycená rostlinami se mění v **chemickou energii ústrojných sloučenin**. V této podobě může setrávat různě dlouhou dobu (např. fosilní paliva).

Vedle uvedených prvotních vlivů slunečního záření na biosféru lze vymezit i **druhotné vlivy**, které se projevují např. přes okolní prostředí (počasí, elektrické pole, změny v magnetosféře). Pro druhotné vlivy jsou důležité další složky slunečního záření – rentgenové, ultrafialové, korpuskulární, rádiové. Např. změny elektrického pole se projevují v srdeční a nervové činnosti vyšších organismů, magnetické pole ovlivňuje elektrickou vodivost živých tkání.

Tok rentgenového, ultrafialového a korpuskulárního záření zesiluje v **době zvýšené sluneční aktivity** (viz část 3.3.1.2), což se projevuje na Zemi výskytem řady geofyzikálních jevů (obr. 15.2). **Elektromagnetické záření**, šířící se od Slunce rychlostí světla, má za následek téměř **okamžité jevy v geografickém prostoru**. Mezi ně patří např. **Dellingerův efekt** (náhlé vymizení příjmu na krátkých vlnách na osvětlené části Země – příčinou je zvýšení ionizace ionosféry emisí ultrafialového záření a s tím související absorpcí krátkých vln v této vrstvě), **magnetický háček** (náhlé zvýšení amplitudy denní variace horizontální složky geomagnetického pole, což souvisí se zvýšenou vodivostí ionosférických vrstev), **vzplanutí** (náhlé zesílení šumu o několik řádů).

**Korpuskulární (částicové) záření** vyvolává v geografickém prostoru některé **opožděné jevy** jako např. **ionosférické a magnetické bouře, polární záře**.<sup>1)</sup> Všechny uvedené jevy jsou vázány na změny v ionosféře, tedy lze konstatovat, že existuje úzká souvislost mezi sluneční činností a jevy ve vysoké atmosféře.

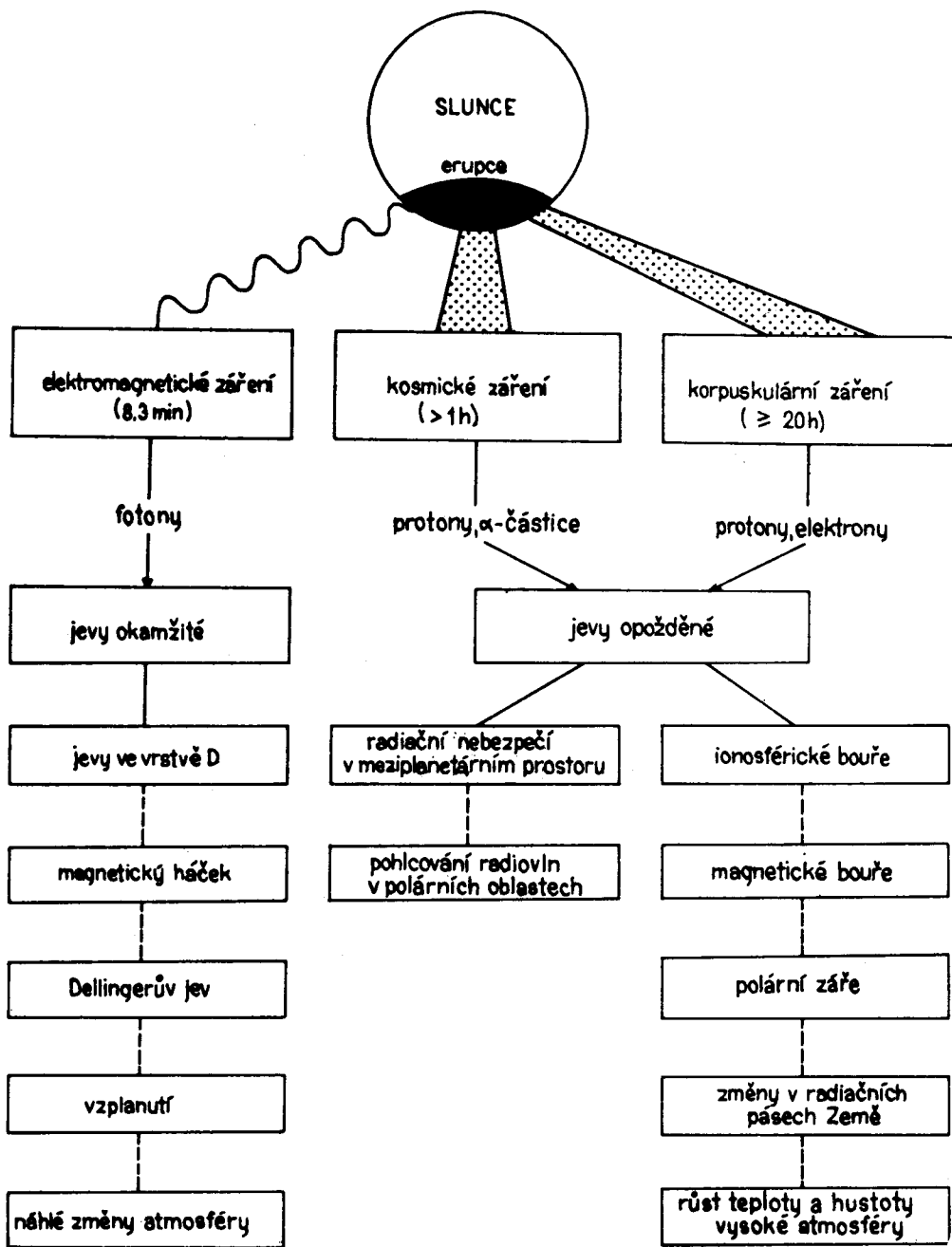
Podstatně komplikovanější je **hledání vztahů mezi sluneční činností a její odezvou ve stratosféře a troposféře**, popř. přímo procesy na zemském povrchu. V řadě prací se porovnává časový průběh určitého procesu s indexy, vyjadřujícími změny sluneční aktivity (např. Wolfova relativní čísla). Takto byl sledován v závislosti na sluneční činnosti např. počet onemocnění různými druhy nemocí, velikost úrody zemědělských kultur, počet dopravních nehod, změny hodnot meteorologických prvků, velikost průtoků na řekách atd. (obr. 15.3). Přehled těchto studií uvádí např. I. P. DRUŽININ et al. (1974). Problémem zatím zůstává vysvětlení nalezených souvislostí a jejich věrohodnost.

Četné studie věnované vazbě mezi sluneční aktivitou a procesy ve spodní atmosféře ukazují, že tento vztah je velmi komplikovaný a že se musí projevat prostřednictvím **mechanismu atmosférické cirkulace**. Např. podle starší hypotézy P. P. PREDTEČENSKÉHO (1948) se maximum sluneční aktivity projevuje na Zemi intenzivní meridionální cirkulací (tj. ve směru poledníků), zatímco v době minima sluneční činnosti převládá zonální přenos (tj. ve směru rovnoběžek).

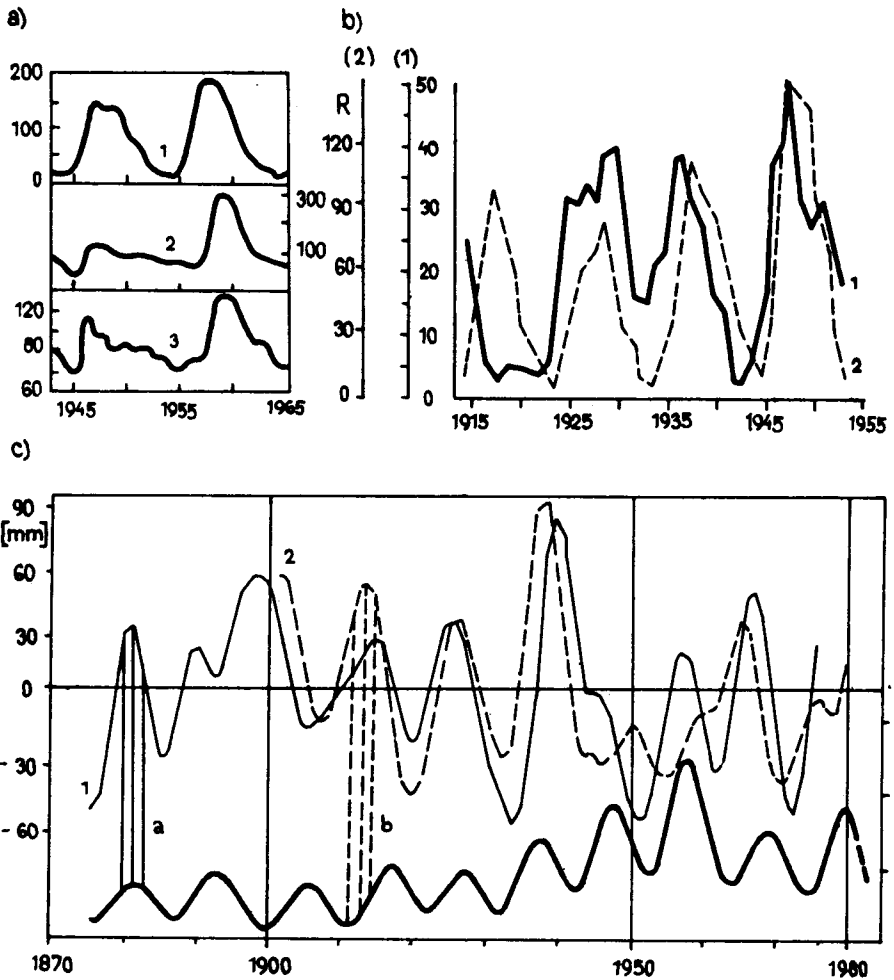
Cirkulace atmosféry je velmi citlivá k **přerozdělování potenciální energie v atmosféře**, k níž dochází vlivem částic kosmického záření (protony vysoké energie), přičemž se generuje část kinetické energie. Intenzita ozařování Země kosmickým zářením je určována také sluneční aktivitou a změnami geomagnetického pole. **Vpád protonů vysoké energie do atmosféry** vede podle J. I. VITINSKÉHO et al. (1976) k přerozdělování mas vzduchu tak, že z oblastí intenzivně ozařovaných vzduch ve výšce odtéká k oblastem slabě ozařovaným, tj. z oblastí centra magnetické anomálie na její periferii. Podle toho, která část zemské atmosféry je vysoce energetickými protony ozařována, se mohou vytvářet dva **základní typy cirkulace** (obr. 15.4). Pokud částice kosmického záření pronikají jen do vysokých zeměpisných šířek, vytváří se **cirkulace typu „teplé Země“**, pokud ozařují rovníkové oblasti vzniká **cirkulace typu „studené Země“**. Podle uvedených autorů již od poloviny minulého století docházelo k postupné záměně cirkulace typu „studené Země“ za cirkulaci typu „teplé Země“, což se projevilo vzrůstem teploty od 80. let minulého století s maximem ve 30.–40. letech našeho století nejvýraznějším právě v polárních oblastech.

**Studium vztahů mezi geomagnetickou aktivitou, počasím a podnebím** se v řadě prací zabýval V. BUCHA (např. 1975, 1976, 1978). Zjistil pozitivní závislost mezi hodnotami geomagnetických indexů  $K_p$ , udávajících velikost korpuskulárního záření ze Slunce, a teplotními změnami v Praze za posledních 80 let. Po náhlém zvýšení geomagnetické aktivity se projevuje výrazný pokles atmosférického tlaku nad severním geomagnetickým pólem v hladině 500 hPa, hlavně v zimním období. Asi za 15 dnů nastává zvýšení teplot ve střední Evropě (v Praze), po němž následuje (po snížení geomagnetické aktivity) výrazný pokles teplot po vpadu arktického vzduchu (obr. 15.5). Tyto zjištěné souvislosti vysvětluje vztahem mezi geomagnetickou aktivitou a v závislosti na ní se utvářejícími tlakovými útvary v oblasti geomagnetického pólu, čímž je podmíněn celkový ráz cirkulace. **Po vzrůstu geomagnetické aktivity se nad geomagnetickým pólem vytváří oblast nízkého tlaku vzduchu**. Její vznik je důsledkem výrazného vzestupu teploty spodní atmosféry

<sup>1)</sup> **Polární záře** jsou světelným úkazem ve vysoké atmosféře, vznikajícím při **rekombinaci iontů** po ionizaci vyvolané dopadem korpuskulárního záření Slunce nebo při rekombinaci protonů vyvržených Sluncem a zbrzděných na rychlosti pod  $4000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ . Rekombinace (opak ionizace) je proces, v němž spojením opačně nabitých částic vznikají částice elektricky neutrální. Polární záře nastávají ve výškách 80–1000 km (nejčastěji 95–120 km). Trvají od několika minut do několika hodin, liší se tvarem, barvou a intenzitou. Běžně se vyskytují v polárních oblastech (severní a jižní záře), ve středních a nízkých zeměpisných šířkách jsou vzácné.

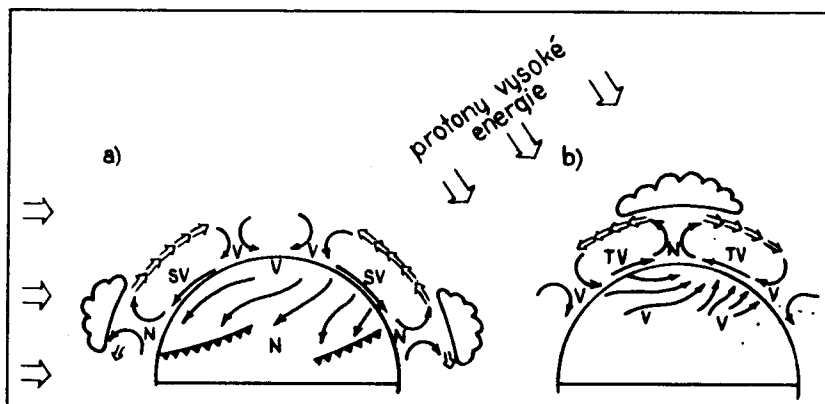


15.2 Schematické znázornění vlivu slunečních erupcí na Zemi (podle M. GRÜNA, P. KOUBSKÉHO, 1974 a J. G. LUŠEVA et al., 1973)



15.3 Závislost některých jevů na změnách sluneční aktivity, vyjádřené Wolfovými relativními čísly ( $R$ ):

- a) porovnání počtu dopravních nehod v Tokiu (2) a celém Japonsku (3) se sluneční aktivitou (1),
- b) porovnání počtu případů onemocnění spálou v Leningradě (1) (počet případů na 1000 obyvatel) se sluneční aktivitou (2) – a) i b) podle I. P. DRUŽININA et al., 1974,
- c) porovnání průběhu ročních úhrnů srážek pro Čechy (1) a Slovensko (2) se sluneční aktivitou ( $R$ ) podle F. ŠAMAJE et al. (1981), (dvojnásobné shazení pomocí bionomických koeficientů a – synchronní cyklus, b – asynchronní cyklus)



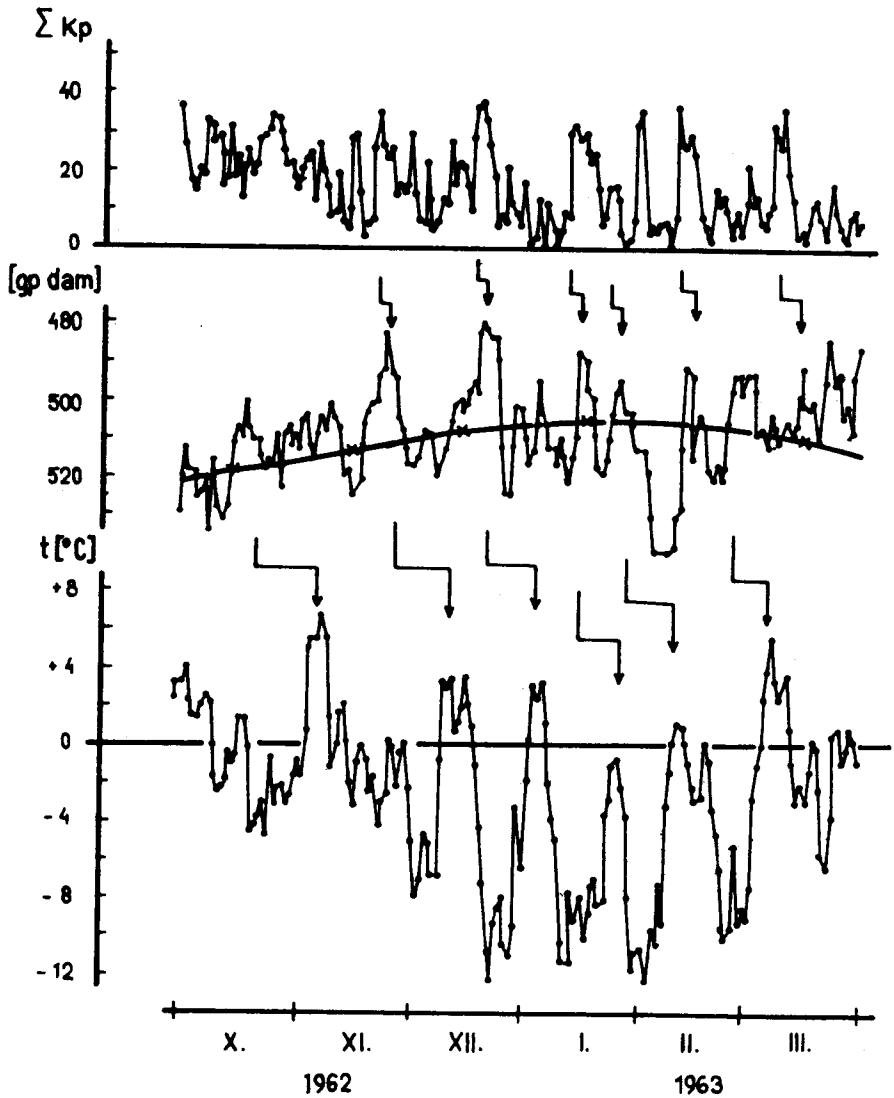
15.4 Schéma cirkulace zemské atmosféry typu „studená Země“ (a) a typu „teplá Země“ (b) (podle J. I. VITINSKÉHO et al., 1976): N – tlaková níže, V – tlaková výše, SV – studený vzduch, TV – teplý vzduch

v aurorálním oválu (přibližně kruhová oblast o poloměru  $23^\circ$  okolo geomagnetického pólu), kde vznikají indukované elektrické proudy o intenzitě  $10^4 - 10^6$  A. Ty jsou zdrojem tepla aurorálního oválu. Tlaková níže může v oblasti geomagnetického pólu setrvávat delší časový úsek, postupně se zvětšovat a prohlubovat, přičemž hraje např. významnou roli při usměrňování vzduchu nad Atlantským oceánem (změna meridionálního proudění na zonální). **Změna rázu cirkulace** se projeví teplotními změnami ve střední Evropě. Při nízké geomagnetické aktivitě se vyskytuje nad geomagnetickým pólem oblast normálního nebo vysokého tlaku, která se může přechodně spojit s azorskou tlakovou výší, čímž se v oblasti vytvoří blokuující hřeben vysokého tlaku vzduchu podél něhož dochází k výměně vzduchových hmot v meridionálním směru (do Evropy ve směru od pólu).

Popsaný mechanismus vlivu geomagnetické aktivity na ráz cirkulace ve spojení se **změnami polohy severního geomagnetického pólu** (tj. středu aurorálního oválu, podmiňujícího vznikání tlakových níží) za několik posledních tisíciletí (obr. 15.6a) dává podle BUCHY uspokojivé výsledky při **objasňování klimatických změn** v oblasti Atlantského oceánu a přilehlých pevninách severní polokoule (obr. 15.6b). Např. v období před 5–10 tisíci let byl severní geomagnetický pól a na něj vázaná oblast nízkého tlaku blíže Evropě než dnes, což se projevvalo přílivem teplého vzduchu od jihu (patří sem doba tzv. postglaciálního klimatického optima – asi před 8–5 tisíci lety).

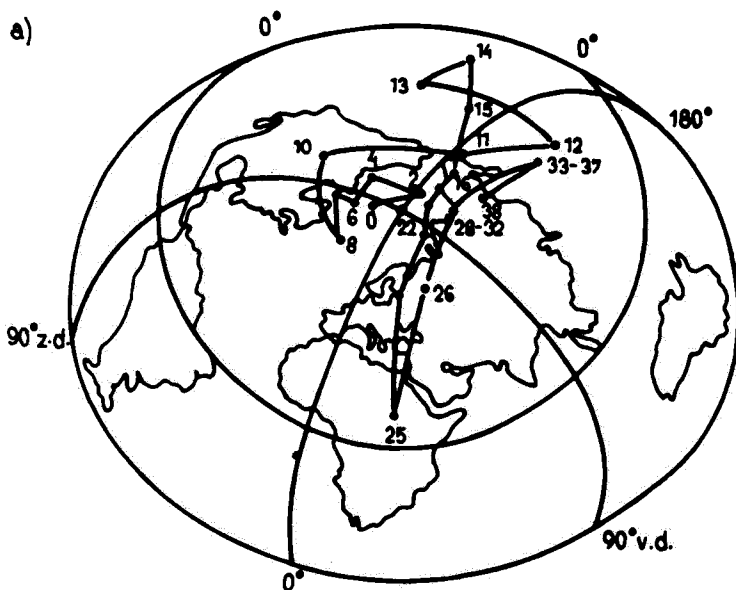
Vedle výše uvedených existuje řada dalších **hypotéz, objasňujících změny klimatu na Zemi astronomickými faktory** (např. změnami parametrů zemské dráhy – viz část 13.2.4, kolísáním solární konstanty – tzv. Simpsonova hypotéza, různými vývojovými etapami Slunce jako hvězdy, průchodem sluneční soustavy oblakem meziplanetárního prachu a plynu při oběhu kolem středu Galaxie). Často však tyto hypotézy vycházejí z neprůkazných astronomických předpokladů a chybí jim adekvátní propracování pro odpovídající procesy ve fyzickogeografické sféře (přehled např. in V. J. SERGIN, S. J. SERGIN, 1978).

Významnou roli v řadě procesů v geografickém prostoru (stejně jako v celém vesmíru) hrají **gravitační síly**, zejména Měsíce a Slunce. Ty podmiňují **slapovou dynamiku geografického prostoru** (obr. 15.7). Slapová energie je v geografickém prostoru přerozdělována na jednotlivé geosféry, v nichž dochází k různým periodickým deformacím. Na slapové deformace v rámci dané geosféry působí deformace zbylých geosfér, přičemž vznikají složité bezprostřední a zpětné vazby (např. vliv mořských slapů se projevuje v pobřežních oblastech až 10 % na variacích tíhové síly,



15.5 Změny denních hodnot geomagnetické aktivity, reprezentované součty  $Kp$  indexů, denních hodnot geopotenciálních výšek hladiny 500 hPa nad geomagnetickým polem a denních odchylek teplot od normálu v Praze pro období říjen 1962 – březen 1963. Křivky ukazují korelaci a časový posun mezi zvýšením geomagnetické aktivity, poklesem tlaku nad geomagnetickým polem a vzrůstem teploty v Praze (V. BUCHA, 1978). Označením gp dam se rozumí geopotenciální dekametry (geopotenciální metr je definován vztahem  $\delta H = (g/9,8) \delta z$ , kde  $\delta z = 1$  m a  $g$  je tíhové zrychlení)





15.6 a) Změny v poloze virtuálního severního geomagnetického pólu za období posledních 38 000 let na základě paleomagnetického výzkumu jezerních sedimentů v ČSSR (čísla udávají tisíce let – podle V. BUCHY, 1976),

změna tlaku o  $10^2$  Pa se projeví změnou úrovně moře asi o 10 mm). Slapové působení na jednotlivé geosféry je patrné v jejich **vnitřních variacích**, kdy bezprostředně vznikající jevy (např. přílivy a odlivy v hydrosféře) mohou vyvolat řadu dalších na ně navazujících jevů.

Důsledkem globální přílivové deformace je pak **zpomalování zemské rotace** a **možné změny parametrů zemské dráhy**, což se zpětně projevuje změnami tvaru Země a vznikem různých napětí v zemském tělese.

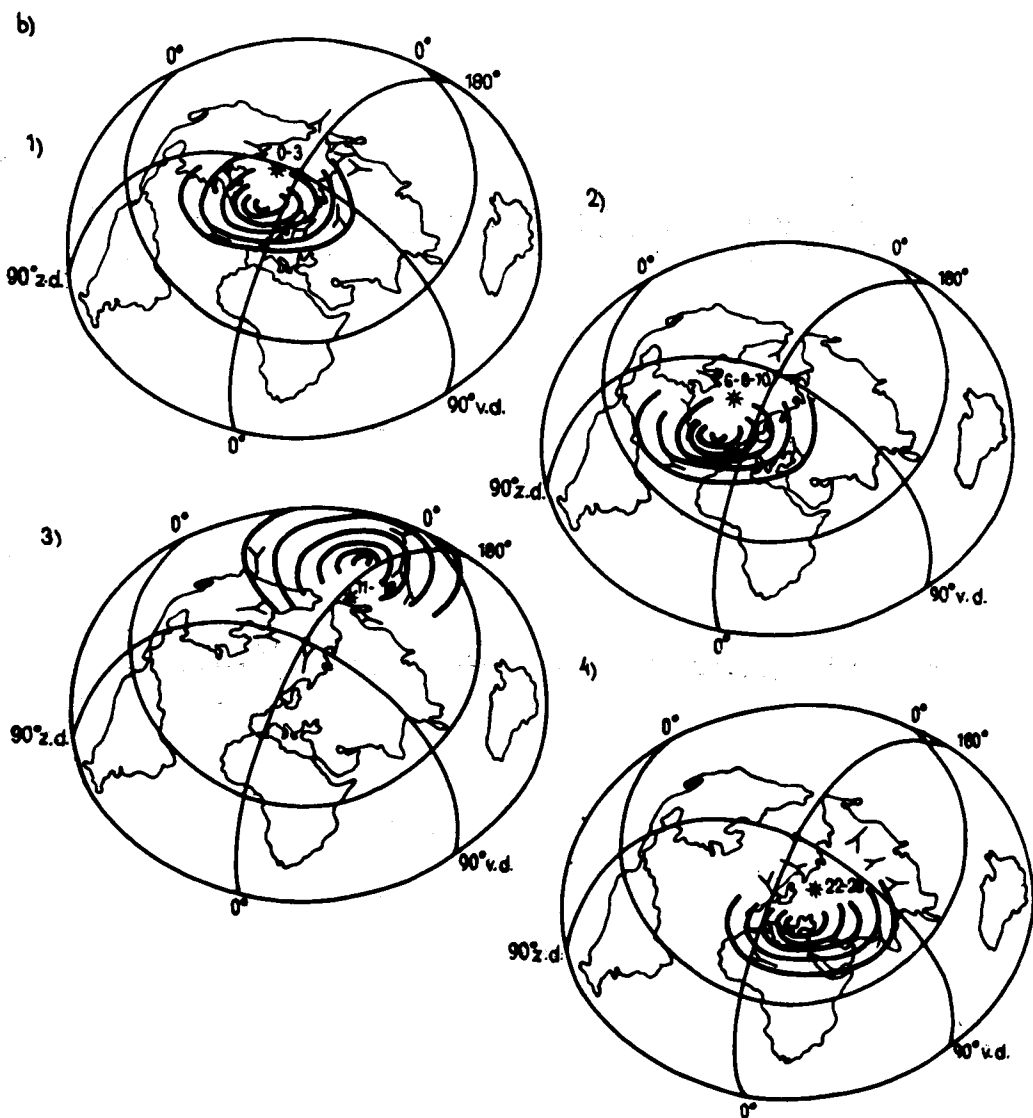
Závěrem této části lze tedy konstatovat, že **vesmírné faktory** představují **základní energetický zdroj**, umožňující vznik, udržování a ovlivňování řady procesů a jevů v geografickém prostoru.

## 15.3 Energie a hmota v geografickém prostoru

Všechny složky geografického prostoru se navzájem ovlivňují a prolínají. Jejich vzájemné působení se uskutečňuje prostřednictvím **výměny hmoty a energie**. Hmota a energie v geografickém prostoru je **zemského, slunečního a kosmického původu**.

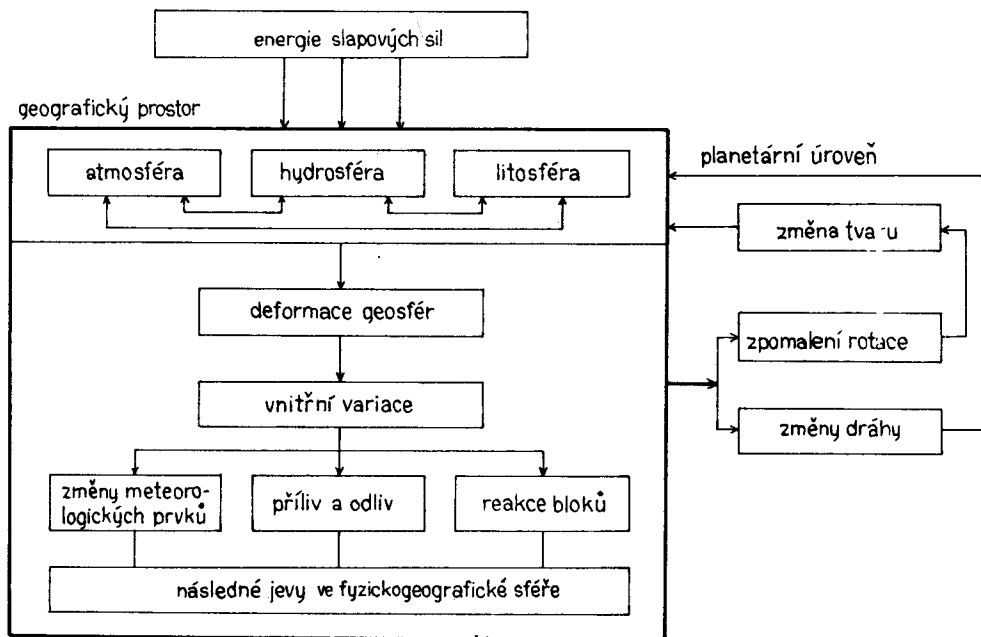
### 15.3.1 OBĚH A TRANSFORMACE ENERGIE

**Tok a výměna energie** je výchozím předpokladem všech procesů probíhajících v geografickém prostoru. V něm se energie vyskytuje v různých formách – např. jako zářivá energie Slunce, mechanická, kinetická, chemická, gravitační, biogenní. V **konečné fázi** se všechny druhy energie mění na **energii tepelnou**.



b) Schematické znázornění oblasti nízkého tlaku vzduchu, vytvářející se v oblasti severního geomagnetického pólu pro období: 1) posledních 3 tisíce let, 2) před 5–10 tisíci let, 3) před 11–18 tisíci let, 4) před 22–28 tisíci let (V. BUCHA, 1976). Hvězdička udává střední polohu geomagnetického pólu (podle obr. 15.6a), šipky označují hlavní směry proudění

Hlavním energetickým zdrojem procesů v geografickém prostoru je sluneční energie, na kterou připadá asi 99,98 % celkové tepelné energie geografického prostoru. Zbývající asi 0,02 % připadají na **vnitřní energii Země**. Dosud zcela nevyjasněná je úloha **kosmické energie (nesluneční)**, která postupuje na Zemi v podobě kosmických paprsků (pro celou Zemi dosahuje asi  $5,8 \cdot 10^{16} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$ , což je asi  $2 \cdot 10^4$  krát menší hodnota než např. vnitřní energie Země – A. M. RJABČIKOV, 1972).



15.7 Zjednodušené schéma slapové dynamiky geografického prostoru

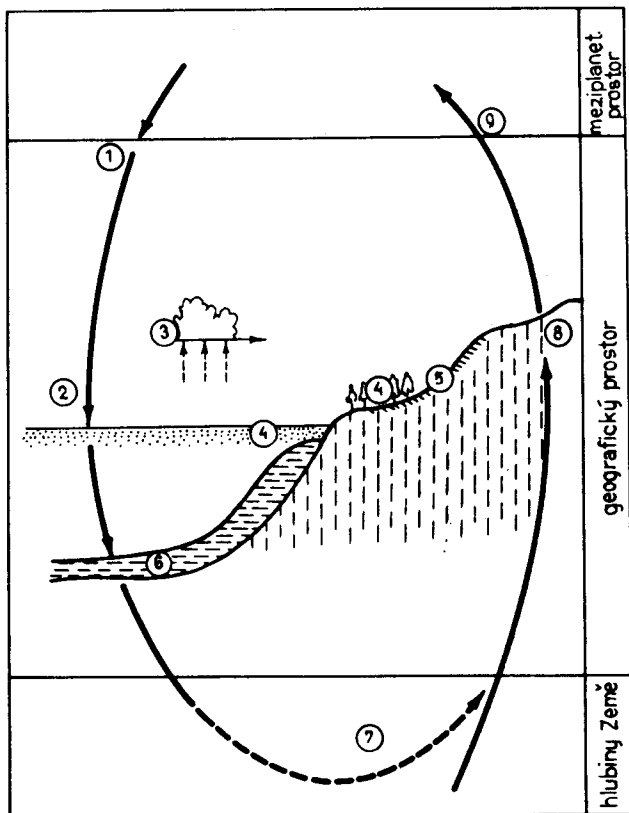
Celkový oběh energie v geografickém prostoru ukazuje obr. 15.8. Číselné hodnoty, které charakterizují oběh energie (v části 15.3.2 i hmoty), se v různých geografických pracích vždy neshodují v důsledku různé metodiky jejich získávání.

#### a) Sluneční energie

**Celkový tok zářivé energie Slunce** dopadající na horní hranici zemské atmosféry, který lze stanovit ze součinu solární konstanty a plochy kruhu o poloměru Země, činí asi  $5,444 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$  (v obr. 15.8 označeno číslicí ①). Část dopadajícího slunečního záření je atmosférou **odrážena** zpět do meziplanetárního prostoru, část je **pohlcována** a **rozptýlována** v zemské atmosféře (viz kap. 4.5.2). Pohlčená zářivá sluneční energie se mění na jiné druhy (hlavně tepelnou a elektrickou energii). Sluneční energie pronikající v podobě přímého a rozptýleného záření až **k zemskému povrchu** ② se zčásti od něho **odráží** a její větší díl je **pohlčován** litosférou a hydrosférou. Asi polovina pohlčené sluneční energie se spotřebovává na **výpar** ③. Sluneční energie, pronikající k zemskému povrchu, podmiňuje spolu s tíhovou silou cirkulaci atmosféry a hydrosféry. Přitom je prakticky celé množství zářivé sluneční energie přeměněno na tepelnou energii, která je v konečném efektu v podobě dlouhovlnného záření Země **uvolňována** do meziplanetárního prostoru ④.

Výsledek všech toků krátkovlnného přímého a rozptýleného záření a záření dlouhovlnného<sup>1)</sup>,

<sup>1)</sup> 99 % celkové intenzity elektromagnetického záření Slunce připadá na interval vlnových délek  $\lambda = 0,1 - 4,0 \mu\text{m}$ . Proto se v meteorologii hovoří o slunečním záření jako o **záření krátkovlnném** na rozdíl od záření atmosféry a zemského povrchu, které se vyznačuje větší vlnovou délkou (záření infračervené až tepelné) a označuje se jako **douhovlnné**.



15.8 Oběh energie v geografickém prostoru (podle K. K. MARKOVA et al., 1978). Význam číslic vysvětlen v textu

kteří jsou v geografickém prostoru pohlcovány, odraženy nebo vyzařovány, nazýváme **radiační bilanci**  $R$ . V případě zemského povrchu ji lze vyjádřit

$$R_Z = Q(1 - \alpha) - E^* \quad (15.3)$$

kde  $Q$  je **globální (celkové) záření** na zemském povrchu,  $\alpha$  je **albedo** zemského povrchu,  $E^* = E_Z - E_A$  je **efektivní vyzařování** ( $E_Z$  je dlouhovlnné záření zemského povrchu,  $E_A$  je zpětné záření atmosféry).

Obr. 15.9 znázorňuje **schéma bilance záření a relativní vyjádření jednotlivých složek** vzhledem k velikosti celkového toku zářivé energie Slunce na horní hranici zemské atmosféry ( $5,444 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1} = 100 \%$ ). Potom tok odraženého záření od horní hranice atmosféry dosahuje hodnoty 19 %, v atmosféře je pohlceno 22 % zářivé energie, zemský povrch pohlcuje z celkového toku 22 % v podobě přímého a 25 % v podobě rozptýleného záření (celkem tedy  $2,559 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$ ). Od zemského povrchu se odráží 9 % zářivé energie do meziplanetárního prostoru, takže **planetární albedo** činí 28 % (tj.  $1,524 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$ ). Vyjádříme-li relativně toky energie v oblasti dlouhovlnného záření, pak pro dlouhovlnné záření zemského povrchu je odpovídající hodnota 114 % a pro zpětné záření atmosféry 96 %.

V **měřítku celé planety** je tedy v ročním průměru radiační bilance atmosféry záporná ( $R_A = 22 \% - 51 \% = -29 \%$ ) a zemského povrchu kladná ( $R_Z = 47 \% - 18 \% = 29 \%$ , tj.  $1,579 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$ ). Tedy pro celý systém zemský povrch – atmosféra je  $R = R_Z + R_A = 0$ .

zemský povrch	atmosféra	horní hranice atmosféry	
		100% $(5.444 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1})$	bilance krátkovlnného záření
zisk $22 + 25 = 47\%$	zisk 22%	ztráta $28 - 100 = -72\%$	
			bilance dlouhovlnného záření
ztráta $96 - 114 = -18\%$	ztráta $109 - 96 - 64 = -51\%$	zisk $64 + 8 = 72\%$	
			transport tepla ze zemského povrchu do atmosféry
ztráta $-5 - 24 = -29\%$	zisk $5 + 24 = 29\%$		
$47 - 18 - 29 = 0\%$	$22 - 51 + 29 = 0\%$	$-72 + 72 = 0\%$	celkem

Přebytek zářivé energie pohlčené zemským povrchem je transformován na energii tepelnou, která je předávána mechanismem turbulence do atmosféry prostřednictvím **výparu (latentní tok tepla  $LE$ , 24 %, tj. asi  $1,307 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$ )** a **přímým turbulentním transportem tepla (turbulentní tok tepla  $H$ , 5 %, tj. asi  $0,272 \cdot 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$ )**. Tyto toky energie jsou součástí **tepelné bilance zemského povrchu (též energetické bilance)**, kterou můžeme vyjádřit vzorcem:

$$R_z = LE + H + A, \quad (15.4)$$

kde  $A$  je **tok tepla pod zemský povrch**.

#### b) Vnitřní energie Země

Z hlubin Země postupuje k zemskému povrchu **tok tepelné energie** (viz obr. 15.8, označen číslicí ⑧), který činí pro celý povrch Země  $1,24 \cdot 10^{21} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$  (K. K. MARKOV et al., 1978), což je asi 4390-krát méně energie než je tok zářivé energie Slunce. Hlavním jeho zdrojem (jak bylo uvedeno v části 10) je pravděpodobně **energie radioaktivního rozpadu látek**. Např. S. V. KALESNIK (1970) uvádí vedle toho i **energií uvolňovanou v důsledku zkracování zemského poloměru a při slapovém tření**.

Zvláštním druhem vnitřní energie je **potenciální energie**, související s působením tíhové síly.

#### c) Energie ve fyzickogeografické sféře Země

Jen nevelká část sluneční energie zůstává díky fotosyntéze **akumulována** v biomase zelených rostlin v podobě **chemické energie**, způsobilé k dalším přeměnám. Množství energie akumulované živou hmotou biosféry je asi  $4,2 \cdot 10^{22} \text{ J}$ . V souladu s částí 15.2 činí energeticky vyjádřená produkce biomasy asi  $3,2 \cdot 10^{21} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$  (v obr. 15.8 označeno ④). Po odumření organismů se značná část jejich chemické energie změní oxidováním v tepelnou a jen nevelká část se hromadí v podobě **chemické energie humusové vrstvy** ⑤, která činí celkově  $5,4 \cdot 10^{22} \text{ J}$ . Její větší díl časem přechází také v tepelnou energii. Zbylá část chemické energie odumřelých organických látek je uchovávána v usazených horninách ⑥, kde při nedostatku kyslíku se může udržovat dlouhou dobu jako **volná energie zóny zvětrávání**.

V některých oblastech se chemická energie organických hmot může dostat poklesem do větších hloubek. Zde v důsledku rozkladu vody může dojít k oxidování organických hmot a přechodu jejich chemické energie v tepelnou ⑦. Takto uvolněné teplo je zřejmě součástí **vnitřního tepelného toku Země** ⑧.

Kromě popsaného způsobu existují i jiné, jimiž se sluneční energie dostává do hlubokých vrstev Země (např. **energie zadržena krystalickými mřížkami minerálů**).

**Energetický koloběh geografického prostoru** tedy ukazuje, že krajinná sféra je částí, v níž dochází k hlavní transformaci přiváděné energie, a že z energetického hlediska je v **dynamické rovnováze**, tj. získává tolik energie, kolik vydává do meziplanetárního prostoru a zemského nitra. Vzhledem ke schopnosti akumulace energie však lze předpokládat, že příjem energie je poněkud větší než výdej.

#### d) Antropogenní energie

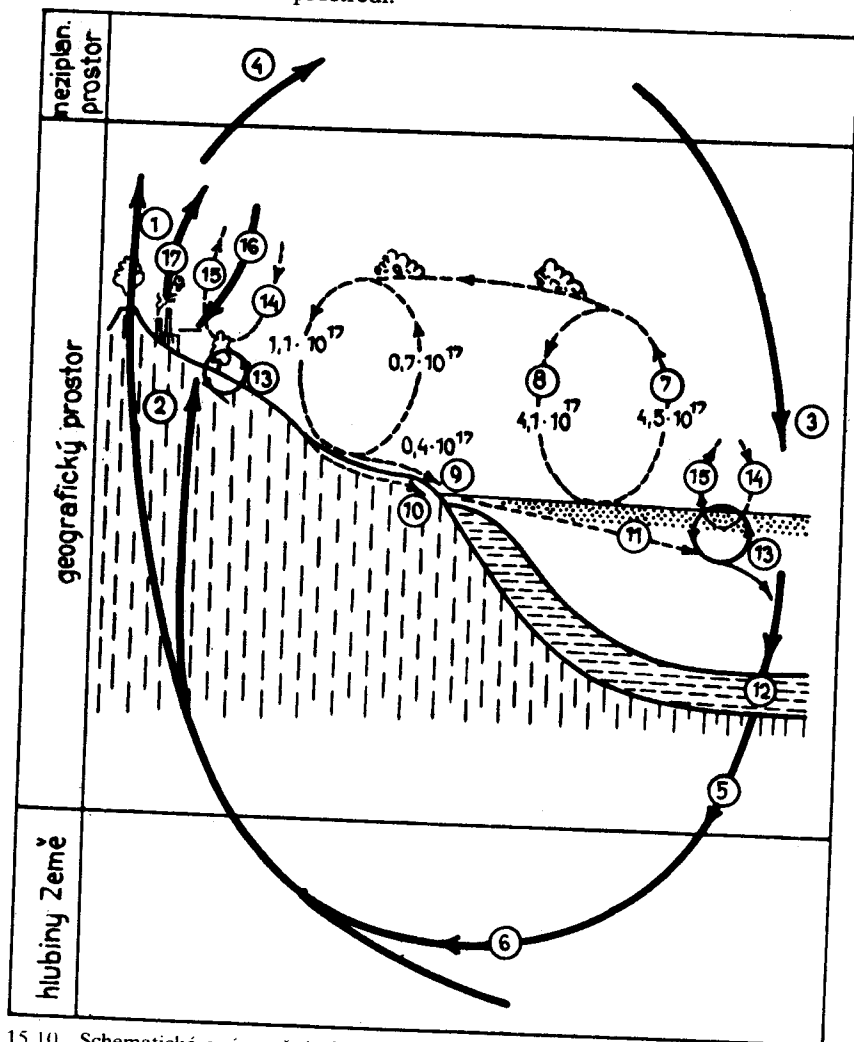
Výše uvedené druhy energie určovaly vývoj fyzickogeografické sféry v minulosti Země. Postupně se k nim ve stále větší míře přiřazuje energie vytvářená činností člověka (**antropogenní energie**). Jde především o **energií uvolňovanou spalováním přirozených geotermických akumulátorů** (uhlí, ropa, zemní plyn aj.). A. M. RJABČIKOV (1980) hovoří v souvislosti s činností člověka o tzv. **energií světové výroby** (tepelná, mechanická, elektrická, elektromagnetická,

15.9 Schematické znázornění složek radiační a tepelné bilance v systému zemský povrch – atmosféra (sestaveno P. PROŠKEM podle různých autorů in R. NETOPIĽ et al., 1984);  $Q(1 - \alpha)$  – globální záření pohlčené zemským povrchem ( $I_h$  – insolace,  $i$  – rozptýlené záření),  $Q_a$  – globální záření odražené zemským povrchem,  $E_0(E_K)$  – dlouhovlnné záření zemského povrchu (atmosféry) uvolňované do meziplanetárního prostoru (ostatní symboly vysvětleny v textu)

chemická, jaderná), která se zdvojnásobuje každých 15 let. V současné době se antropogenní činností uvolňuje asi 0,01 % Zemí pohlcované sluneční energie. Předpokládá se, že v r. 2000 to bude již 0,1 % a za dalších 30 let již dokonce 1 %. Uvolněná tepelná energie se zčásti spotřebovává na ohřev atmosféry, což může mít v interakci s některými dalšími jevy (např. růst obsahu CO<sub>2</sub> – viz část 15.3.2) již v nedaleké budoucnosti za následek změnu klimatických podmínek na Zemi s odpovídajícími změnami v krajinné sféře Země (viz např. M. I. BUDYKO, 1980).

### 15.3.2 OBĚH HMOTY

Veškerá migrace hmoty v geografickém prostoru má podobu oběhů různého měřítka. Oběhy nejsou plně uzavřeny, ale jsou navzájem propojeny a jsou součástí celkového oběhu hmoty v systému geografický prostor – okolní prostředí.



15.10 Schematické znázornění oběhu hmoty v geografickém prostoru (podle K. K. MARKOVA et al., 1978) (vysvětlení číslic v textu, oběh vody vyjádřen v kg · rok<sup>-1</sup>)

Do geografického prostoru se dostává hmota z hlubin Země v podobě produktů vulkanismu (obr. 15.10 – číslice ① a s vyvělými horninami ②), z vesmíru pak v podobě meteoritů a meteorického prachu ③. Z geografického do meziplanetárního prostoru jsou uvolňovány atomy lehkých plynů, hlavně vodíku a hélia ④. V některých oblastech dochází k poklesu hmot zemské kůry do hlubších částí Země ⑤, které se po přetavení ⑥ stávají součástí hmoty, postupující zpět do geografického prostoru ①, ②. Tím se završuje **velký oběh hmoty v systému meziplanetární prostor – geografický prostor – hlubiny Země**.

Velký oběh hmoty však není uzavřen. Např. do meziplanetárního prostoru se dostává jiné množství hmoty, než je přinášeno na Zemi. Stejně tak je tomu ve výměně hmot geografického prostoru s hlubšími částmi Země.

**Ve fyzikogeografické sféře mají zásadní význam dva oběhy menšího měřítka – oběh vody a biologický oběh, které se vzájemně prolínají.**

#### a) Oběh hmoty mezi pevninou a oceánem, spjatý s oběhem vody

Při zahřívání hydrosféry se z povrchu oceánů vypařuje velké množství vody ( $4,5 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) ⑦, které se z větší části ( $4,1 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ , tj. 91,1 %) do nich přímo vrací v podobě atmosférických srážek ⑧. Zbylá část vypařené vody je přenášena nad pevniny, kde vypadává jako atmosférické srážky a vrací se povrchovým a podzemním odtokem zpět do oceánů ⑨. Celkový odtok říční vody do oceánu dosahuje asi  $0,36 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Oběhu vody se však neúčastní jen čistá voda, ale i v ní rozpuštěné látky, obsažené také již ve srážkách. Vedle rozpuštěných látek obsahuje odtékající voda velké množství mechanického materiálu (plaveniny a splaveniny) jako produktů zvětrávání. Část těchto látek zůstává na pevnině v údolí řek a asi  $1,5 \cdot 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$  se dostává říčním odtokem do oceánu ⑩. Mechanický materiál klesá v pobřežních oblastech na dno, zatímco rozpuštěné látky se mísí s mořskou vodou ⑪ jsou pohlcovány mořskými organismy ⑬ a jako výsledek chemických a biochemických procesů vypadávají také na dno oceánů ⑫. Ročně se tak na oceánském dně ukládá asi  $1,5 \cdot 10^{13} \text{ kg}$  látek. Je tedy zřejmé, že do oceánů se dostává více hmoty, než se jí vrací na pevninu.

Výměna hmoty mezi pevninou a oceánem není omezena jen na popsaný oběh. V důsledku zdvihu nebo poklesu pevnin či oceánského dna může být oběh hmoty modifikován. Např. mořské sedimenty se mohou objevit na pevnině a být začleněny do nového oběhu.

#### b) Oběh vyvolaný činností biomasy (biologický)

Mezi živými organismy a okolním prostředím dochází k neustálé výměně hmoty, aby byly zajištěny jejich základní životní činnosti. Živá hmota biosféry činí asi  $6,5 \cdot 10^{15} \text{ kg}$ . Roční přírůstek živé hmoty (hlavně fotosyntézou) je asi  $8,8 \cdot 10^{14} \text{ kg}$  (totéž množství živé hmoty zároveň ročně odumírá). Jak bylo uvedeno v části 15.2, při fotosyntéze zelené rostliny spotřebovávají vodu a produkty minerální výživy (v obr. 15.10 označeno ⑬) na pevnině z půdy a v hydrosféře z její svrchní části. Z hydrosféry a atmosféry pohlcují rostliny také oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  v množství asi  $4,3 \cdot 10^{14} \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$  ⑭ a uvolňují kyslík  $\text{O}_2$  v množství asi  $3,2 \cdot 10^{14} \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$  ⑮. Takto se všechen kyslík atmosféry obnovuje asi za 5800 let, oxid uhličitý za 7 let.

S výparem z rostlin (transpirací) je spojen intenzivní oběh vody. Transpirací rostlin na pevninách se do biologického oběhu dostává asi  $10^{12} \text{ kg}$  minerálních látek z půdy. Stejně množství se ročně vrací na povrch půdy (K. K. MARKOV et al., 1978).

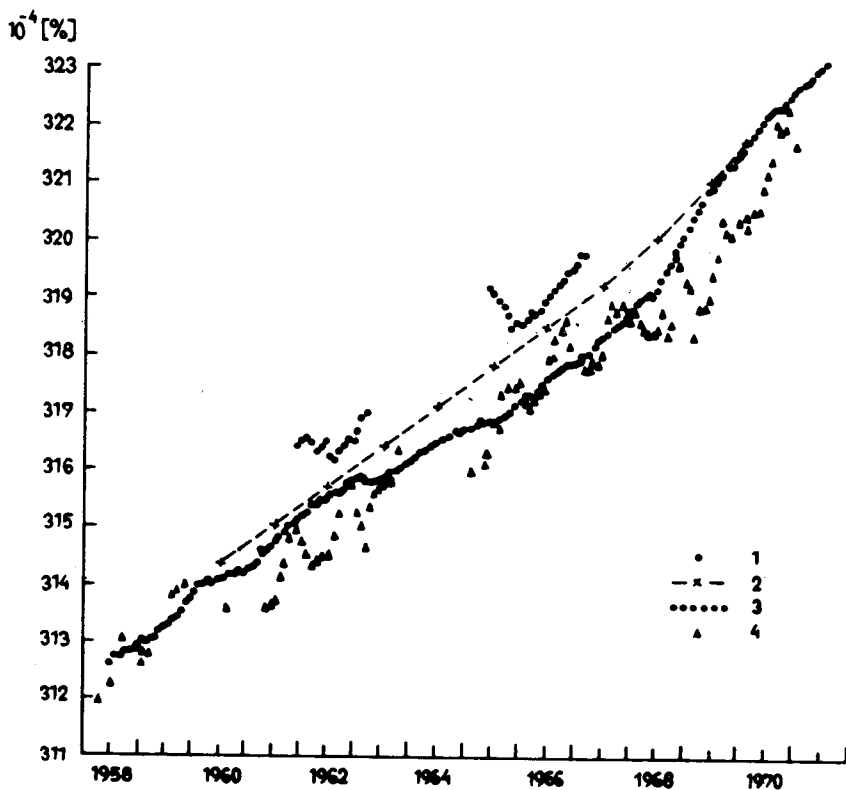
Biologický oběh hmoty není plně uzavřen, protože část živé hmoty je říčním odtokem odváděna do oceánských a jezerních oblastí, kde se stává součástí vrstvy sedimentů.

#### c) Modifikace oběhu hmoty antropogenní činností

Jedním z nejvýznamnějších faktorů migrace hmoty v krajinné sféře Země se stala činnost člověka (antropogenní činnost). Podle A. M. RJABČIKOVA (1980) získává člověk ročně ze Země



více než  $1,2 \cdot 10^{14}$  kg nerostných surovin a stavebních materiálů, vytaví  $8 \cdot 10^{11}$  kg různých kovů, vyrobí více než  $6 \cdot 10^{10}$  kg syntetických materiálů, na polích použije více než  $5 \cdot 10^{11}$  kg umělých hnojiv a do  $4 \cdot 10^9$  kg různých jedovatých chemikálií, z nichž je 1/3 odnášena povrchovým odtokem nebo zůstává v atmosféře (např. při práškování letadly). Lidstvo využívá více než 13 % říčních vod. Přitom se ročně produkuje asi  $6 \cdot 10^{14}$  kg odpadních vod, k jejichž neutralizaci je třeba pěti až dvanáctinásobné množství zředující čisté vody. Spaluje se kolem  $9 \cdot 10^{12}$  kg měrného paliva, přičemž se z atmosféry spotřebovává  $2 \cdot 10^{13}$  kg volného kyslíku ročně (v obr. 15.10 číslice ⑯) a uvolňuje se do atmosféry asi  $2 \cdot 10^{13}$  kg oxidu uhličitého a více než  $7 \cdot 10^{11}$  kg prachových a plynných příměsí (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> atd. – v obr. 15.10 číslice ⑰). To má vliv na postupnou změnu chemického složení zemské atmosféry. Nejvýznamnější je rostoucí spotřeba kyslíku, která může vést k částečnému narušení kyslíkové bilance biosféry, a výrazný růst obsahu CO<sub>2</sub>. V r. 1890 jeho obsah v procentuálním vyjádření činil 0,0295 %, v současné době je to kolem 0,035 %. Prudký růst obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře, zejména v posledních desetiletích, dokumentuje obr. 15.11, který ukazuje, že růst obsahu CO<sub>2</sub> je globálním jevem, zaznamenaným i na stanicích, v jejichž blízkosti chybí antropogenní zdroje CO<sub>2</sub> (Antarktida). Např. na stanici Mauna Loa vzrostla koncentrace CO<sub>2</sub> jen v letech 1958–1981 o 7 %. I když výpočty růstu koncentrace CO<sub>2</sub> se poněkud liší v závislosti na přijatých modelech, uvádí se pro r. 2000



15.11 Změny koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře v letech 1958–1971 (podle A. CH. CHRGIJANA, 1978). Místa měření: 1 – Point Barrow, Aljaška; 2 – Skandinávie – letecká měření; 3 – Mauna Loa, Havajské ostrovy; 4 – Amundsen-Scott, Antarktida

koncentrace CO<sub>2</sub> v mezích 0,037–0,040 % a kolem r. 2025 0,047–0,074 % (M. I. BUDYKO, 1980, 1984). Růst obsahu CO<sub>2</sub> se může do budoucna projevovat zesilováním tzv. **skleníkového efektu atmosféry**, zapříčiňujícím růst globální teploty vzduchu na Zemi.

---

## 15.4 Obecné geografické zákonitosti

---

Objekty, jevy a procesy krajinné sféry Země jsou typické značnou prostorovou a časovou proměnlivostí, z čehož vyplývá jejich velká složitost a různorodost. Přesto lze však v nich najít některé obecné rysy, mající povahu zákonitostí. Následující přehled, částečně vycházející z práce S. V. KALESNIKA (1970), shrnuje **obecné geografické zákonitosti**, které vyplývají ze vzájemného spolupůsobení vesmírných a zemských faktorů:

1. Země jako planeta sluneční soustavy podléhá obecným vývojovým zákonitostem sluneční soustavy a celého vesmíru. Proto na ni neustále působí různé vesmírné faktory, tj. Země je „konzumentem“ vesmírných vlivů.

2. Individuální zvláštnosti Země jako planety (zemské faktory) přispívají ke změně ji obklopujícího meziplanetárního prostoru. Část vesmíru, kde se projevuje vliv zemských faktorů, je geografický prostor. Procesy a jevy v něm jsou výsledkem interakce zemských a vesmírných faktorů.

3. Planeta Země představuje zvláštní jednotný a velmi složitý systém, v němž jsou jeho jednotlivé složky úzce propojeny. Systém je otevřený, tj. existuje výměna hmoty a energie mezi Zemí a okolním meziplanetárním prostorem.

4. Jednotný systém planety Země se skládá z koncentrických vrstev (geosfér), uspořádaných od středu Země podle klesající hustoty. Kvalitativně odlišnou sféru představuje krajinná sféra Země, obývaná, využívaná a přetvářená lidskou společností. Každá geosféra je otevřeným subsystémem, využívajícím se individuálními rysy jak podle složení, tak z hlediska oběhů hmoty a energie v něm.

5. Oběh hmoty a energie ve fyzickogeografické sféře Země zajišťují opakovatelnost procesů a jevů a jejich vysokou celkovou efektivitu při omezených výchozích množstvích hmoty a energie (zákon oběhů).

6. Hlavním energetickým zdrojem pro všechny procesy ve fyzickogeografické sféře Země je Slunce. Vnitřní zdroje energie jsou řádově 10<sup>4</sup>krát menší. Neustále roste podíl energie produkovaný lidskou činností.

7. Fyzickogeografická sféra Země je z energetického hlediska v dynamické rovnováze, tj. získává přibližně tolik energie, kolik jí vydává do meziplanetárního prostoru a hlubších partií Země.

8. Z vlastností Země jako planety plynou následující skutečnosti:

a) Hmotnost Země a teplota její plynné atmosféry udržují dusíko-kyslíkové složení atmosféry Země a určují stupeň stálosti jednotlivých plynných složek v ní.

b) Existence geomagnetického pole a radiačních pásů Země jako ochrana před slunečním větrem a částicemi vysokých energií patří spolu s existencí ozonoféry k limitujícím faktorům života na Zemi.

c) Gravitační působení Měsíce a Slunce způsobuje dlouhodobé zpomalování rychlosti zemské rotace (tj. prodlužování délky dne) a periodické slapové změny v litosféře, hydrosféře

a atmosféře. Zpomalování rychlosti zemské rotace má za následek v dlouhodobé perspektivě přechod od současného tvaru Země (zploštění Země v oblasti pólů) ke kulovému s odpovídajícími tektonickými změnami.

d) Přibližně kulový tvar Země, rotace Země a její oběh kolem Slunce podmiňují zonální rozdělení extraterestrální insolace na Zemi (které je příčinou klimatické zonality) a její sezónní změny (režim počasí). Klimatická zonalita určuje zonalitu geografickou, které se podřizují jevy a procesy ve fyzickogeografické sféře Země (zákon geografické zonality). Geografické zóny jednoho a téhož typu se mohou opakovat v různých geografických pásech (periodický zákon geografické zonality).

e) Rotace Země a její oběh kolem Slunce podmiňují denní, sezónní, roční a dlouhodobou rytmičnost (cykličnost) procesů a jevů v krajinné sféře Země.

f) Dlouhodobé změny vesmírných a geofyzikálních faktorů podmiňují změny klimatu na Zemi. V návaznosti na ně probíhají změny ostatních složek fyzickogeografické sféry.

g) Severní polokoule Země má astronomicky příznivější klimatické podmínky než polokoule jižní. Vedle toho se polokoule liší rozdělením pevnin a moří, strukturou fyzickogeografické sféry, geologickou historií atd. (zákon polární asymetrie Země).

h) Uchylující síla zemské rotace způsobuje vychylování pohybujících se hmotných objektů ve fyzickogeografické sféře, což se nejvýrazněji projevuje v pohybu vodních a vzduchových hmot.

i) Působení vesmírných faktorů na Zemi je výchozím podnětem pro vznik, udržování a ovlivňování řady procesů a jevů ve fyzickogeografické sféře Země.

9. Ve struktuře a rozvoji fyzickogeografické sféry Země hrají podstatnou roli vedle zonálních faktorů i faktory azonální (zákon azonálnosti), které jsou dány převahou zemských faktorů nad vesmírnými.

10. Fyzickogeografická sféra Země je ve stavu nepřetržitého vývoje (zákon vývoje). Hlavní hybnou silou vývoje je neustálé střetávání vesmírných a zemských faktorů (tj. zonálních a azonálních tendencí).