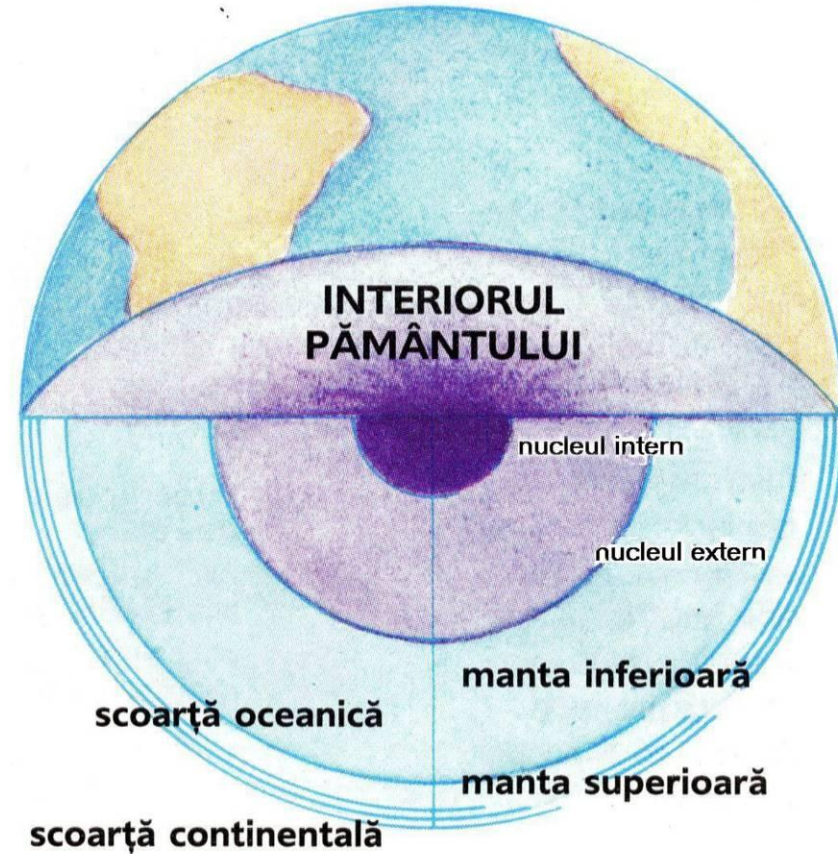


2. STRUCTURA INTERNĂ



PAMANTUL VAZUT DIN SPATIU



**STRUCTURA INTERNA
A PAMANTULUI**

PRIVIRE DIACRONICĂ

I. SEPARAREA GEOSFERELOR MAJORE: SCOARȚĂ, MANTA ȘI NUCLEU

Richard Dixon Oldham - geolog englez

- propagarea undelor seismice nu se face uniform în interiorul Globului;
- **variațiile de viteză ale undelor depinde de caracteristicile fizice, chimice și mineralogice ale materialului străbătut.**

Andrei Mohorovičić (1909) - geofizician croat

- studiind un cutremur din Peninsula Balcanică a descoperit că schimbarea vitezelor undelor se face brusc, în zonele din interiorul Globului unde vin în contact straturi constitutive cu caracteristici fizice, chimice și mineralogice semnificativ diferite. Aceste suprafețe de separație au fost denumite discontinuități;
- **discontinuitate Moho, reprezintă limita scoarță/manta, la adâncimea de 50-80 km.**

Beno Gutenberg (1913) - geofizician american

- **discontinuitatea Wiechert-Gutenberg, separă mantaua de nucleu, la 2900 km adâncime.**

II. SEPARAREA SUBDIVIZIUNILOR GEOSFERELOR MAJORE

W. C. Repetti (1928) – seismolog american

- discontinuitate Repetti la 1000 km adâncime, în mantaua inferioară.

Inge Lehman (1936) – seismolog danez

- discontinuitatea Lehman la 4980 km, separă nucleul extern de zona de tranziție.

Keith Edward Bullen (1942) – seismolog englez

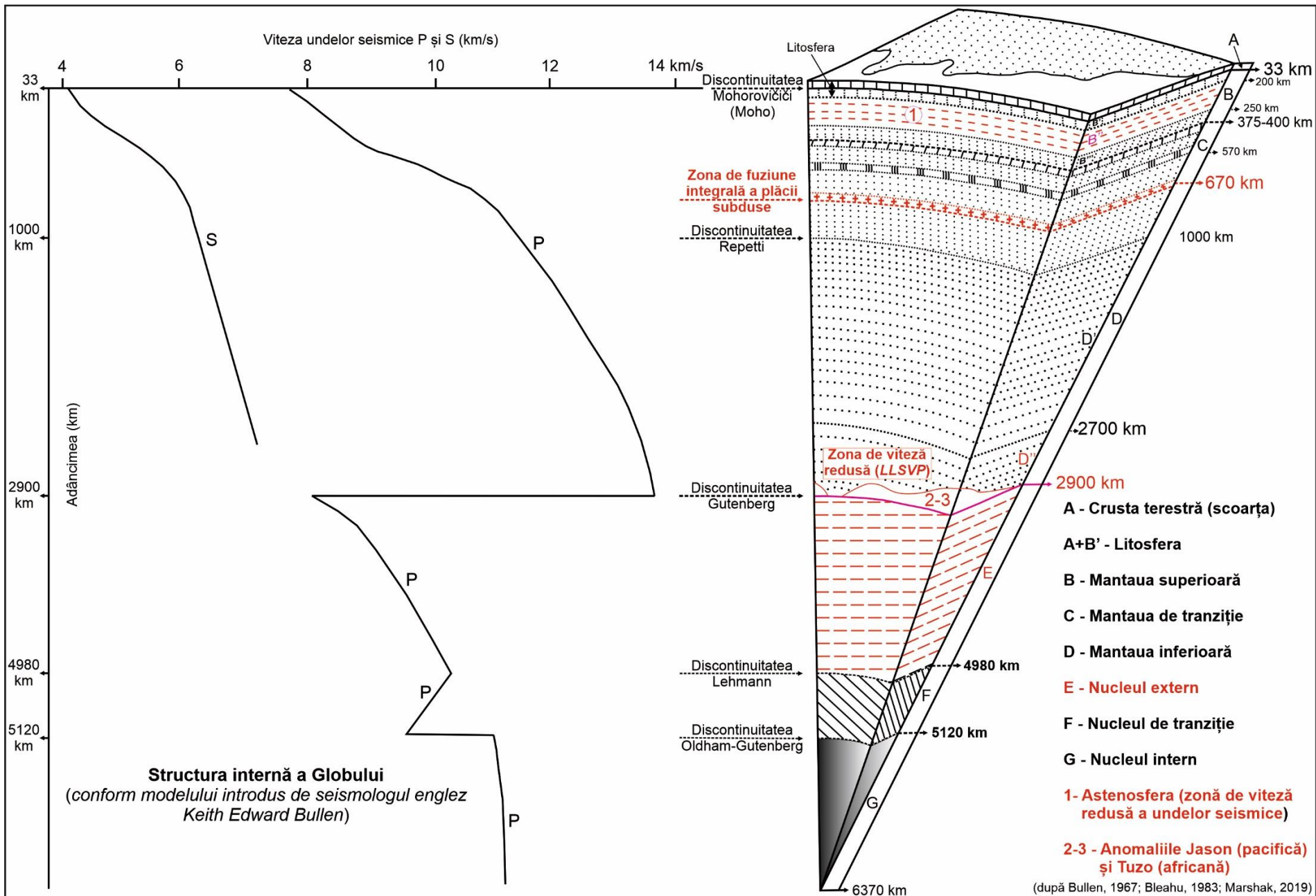
- discontinuitatea Oldham-Gutenberg, la 5120 km adâncime separă nucleul de tranziție de nucleul intern; În acest mod se separă zona de tranziție în cadrul nucleului, cu 140 km grosime, situată între 4980 și 5120 km;

- a introdus în 1942 o nomenclatură, indicând cu literele A, B, ...G păturile constitutive principale ale Globului. Acestea au fost ulterior completate cu o serie de subdiviziuni (B', B'', B'''; D', D'').

Beno Gutenberg (1948) – geofizician american

- separă în mantaua superioară **stratul de viteză redusă (= astenosfera)**;
- delimitează între 400 și 1000 km zona de tranziție, dintre mantaua superioară și mantaua inferioară.

STRUCTURA INTERNĂ A PĂMÂNTULUI



MODEL PRIVIND STRUCTURA INTERNĂ A PĂMÂNTULUI ȘI DISTRIBUȚIA UNOR PARAMETRII FIZICI ȘI CHIMICI, ÎNTOCMIT PE BAZA DATELOR FURNIZATE DE MĂSURĂTORILE GEOFIZICE

ÎNVELIȘUL	ZONA	DISCONTINUITĂȚI Km	VITEZA UNDELOR P (Km/s)	VITEZA UNDELOR S (Km/s)	DENSITATE (g/cm ³)	GRAVITAȚIA (cm/s ²)	PRESIUNEA X 10 ¹² (dyne/cm ²)	TEMPERATURA (C ⁰)	COMPORTAMENT FIZIC (STARE DE AGREGARE)	COMPOZIȚIE CHIMICĂ				
											SIAL	SIMA		
CRUSTA (SCOARȚĂ)	Strat granitic	A	CONRAD	20	5,6	3	981	0,01	450	Solid eterogen	Silicați de Al	SIAL	CRUSTA (SCOARȚĂ)	LITOSFERA
	Strat bazaltic				6,5	3,7				2,7	Solid omogen			
MANTA	Mantaua superioară	B	MOHOROVIČIČ	30-70	6,9	4,7	3,0	0,09	1177	Plastic	Silicați de Al, Fe, Mg	SIMA	100	Astenosfera
	Zona de tranziție			C	375	8,1	4,7	3,3	985					
	Mantaua inferioară	D	REPETTI	670	11,4	6,4	4,7	995	0,39	1728	Solid	Oxizi de Si, Fe, Mg și metasilicați	MANTA	MEZOSFERA
				2900	11,36	7,3	6,7	1030	1,37	2111	Solid probabil omogen	Lichid metalic de Fe, Ni, Si (±S)		
NUCLEU	Nucleul extern	E	WIECHERT-GUTENBERG	4980	8,10		9,7	1030		Fluid omogen	Ni - Fe	NIFE	NUCLEU	CENTROSFERA
	Zona de tranziție				F	5120	10,44		12,5	500	3,27			
	Nucleul intern	G	OLDHAM-GUTENBERG	6370	11,26					Solid rigid	Ni - Fe (10% - 30%)			
					11,3		13,0	0	3,64	4000				

(după Bleahu, 1983)

DESCRIEREA SUCCINTĂ A GEOSFERELOR INTERNE ALE GLOBULUI (ENDOSFERA) (BULLEN, 1942)

Scoarța este separată în trei tipuri: continentală, de tranziție și oceanică:

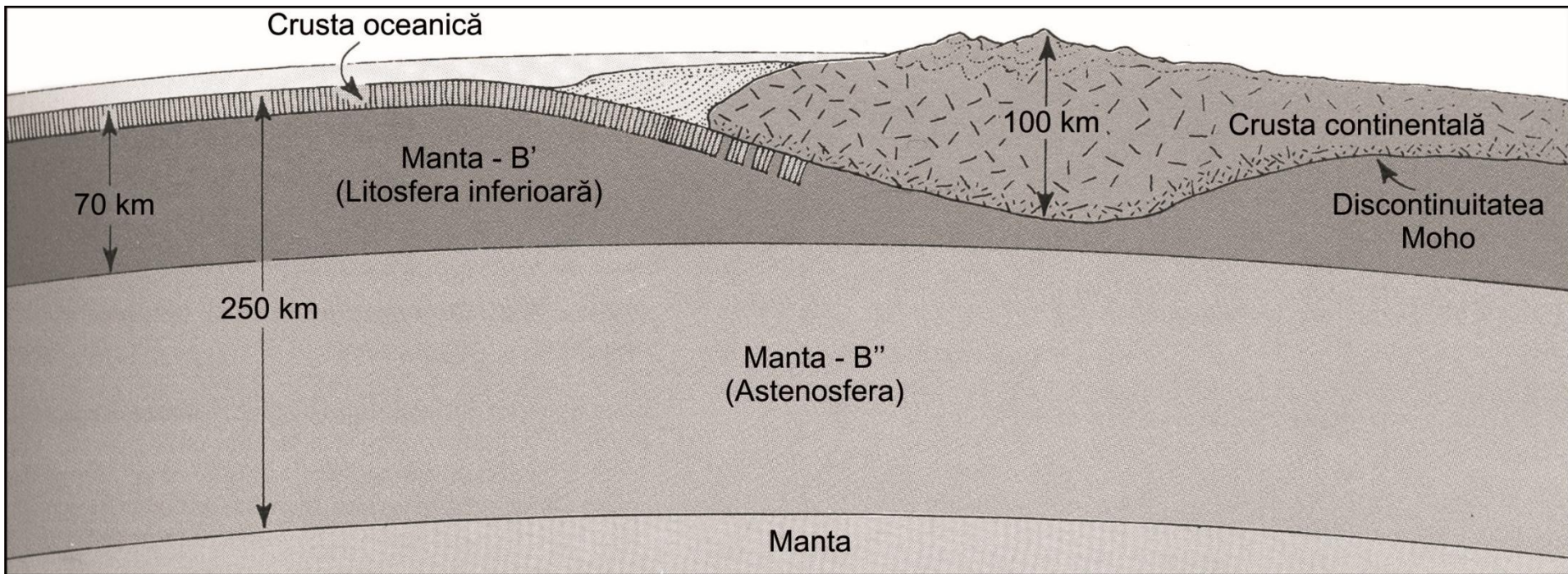
1. Scoarța continentală este alcătuită din trei părți:

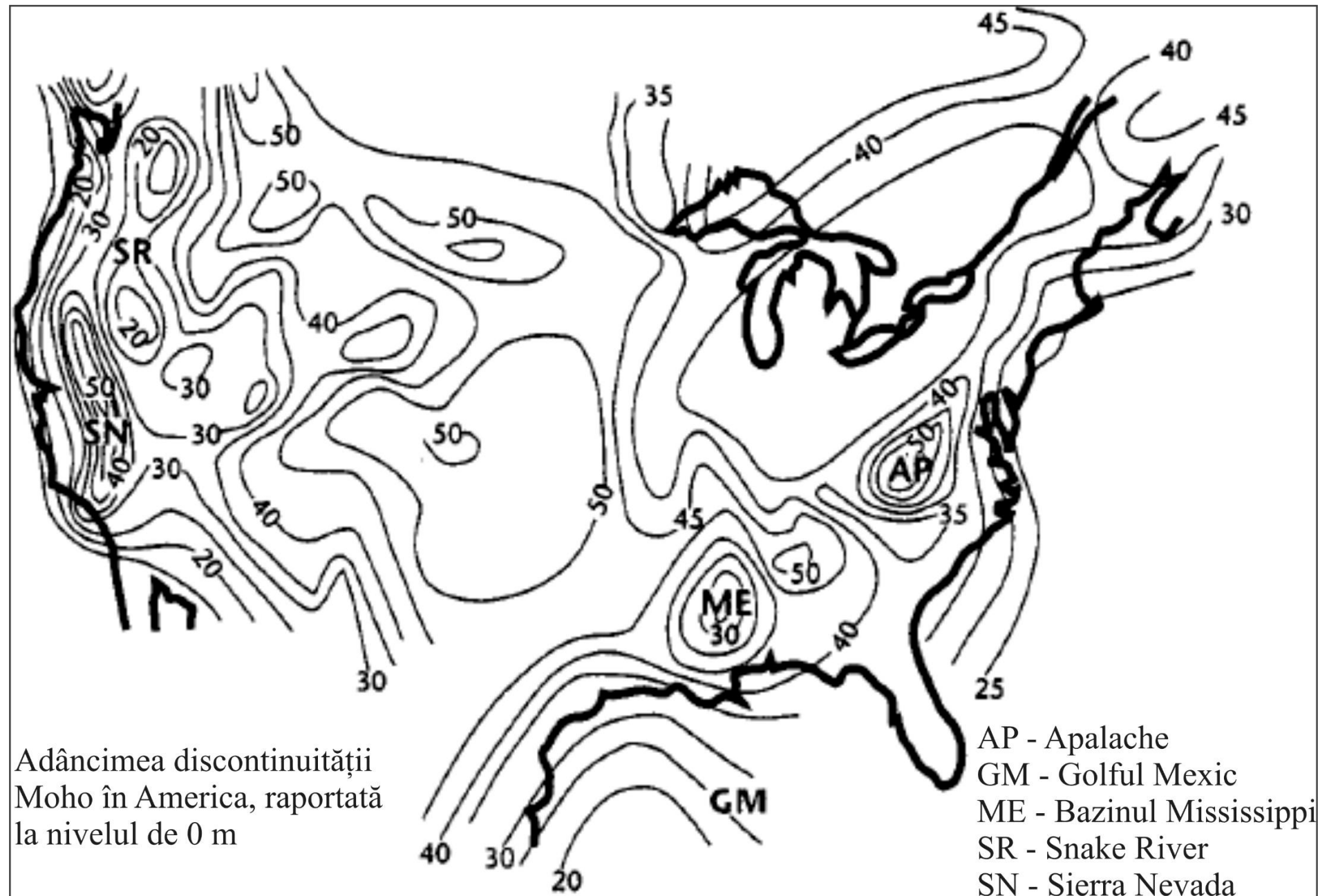
- “stratul” sedimentar sau *stratisfera* cu grosimi de 0-15 km,
- “stratul” granitic cu o grosime de 10-15 km în platforme și 30-40 km în catenele montane,
- “stratul” bazaltic cu grosimi de 15-20 km;

2. Scoarța oceanică este alcătuită din:

- “stratul” sedimentar cu o grosime de 0-2000 m (și peste 2000 m în fosele oceanice)
- “stratul” bazaltic de 4-6 km grosime;

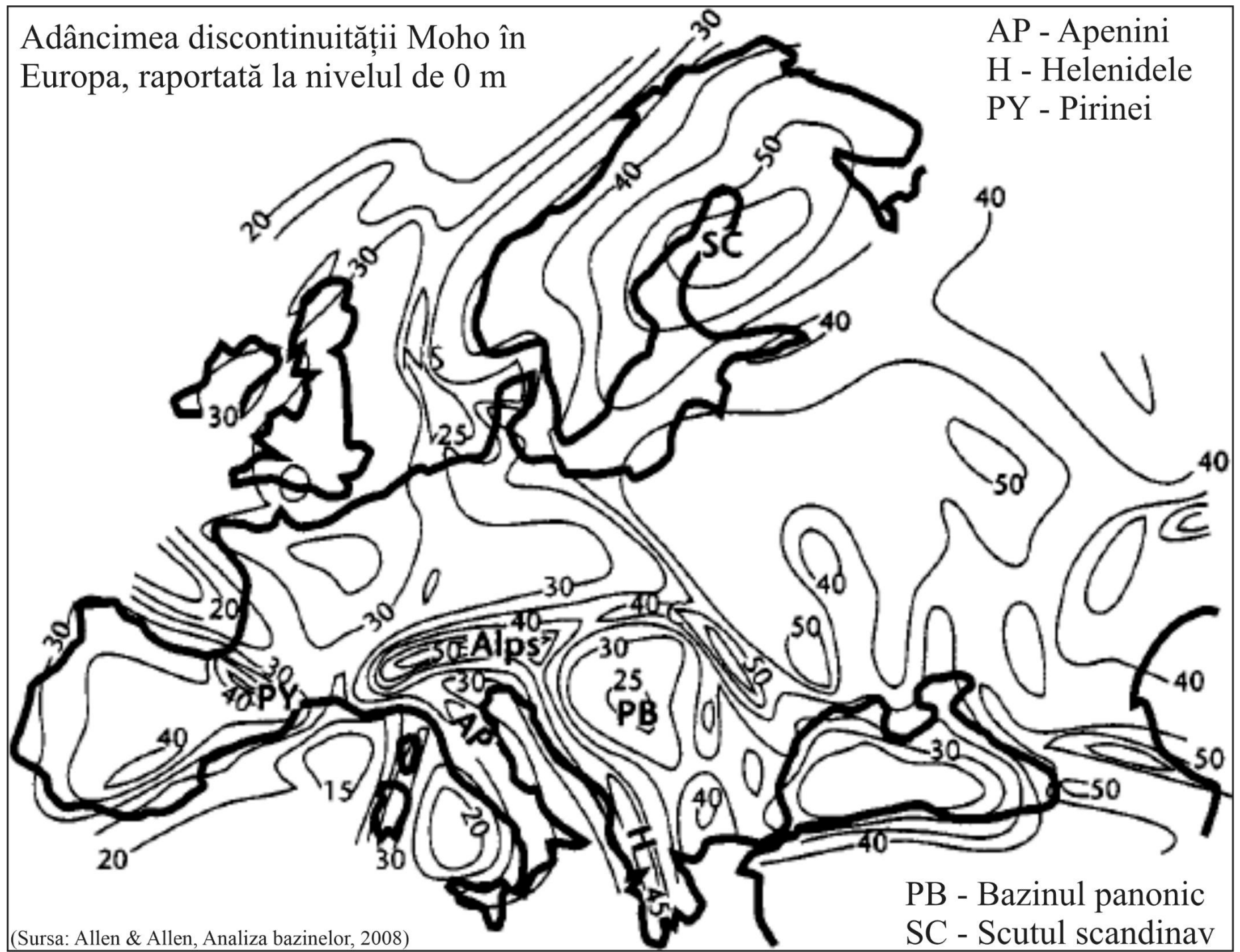
3. Scoarța de tranziție se distinge de cea continentală prin scăderea grosimii “stratului” granitic.





Adâncimea discontinuității Moho în
Europa, raportată la nivelul de 0 m

AP - Apenini
H - Helenidele
PY - Pirinei



PB - Bazinul panonic
SC - Scutul scandinav

(Sursa: Allen & Allen, Analiza bazinelor, 2008)

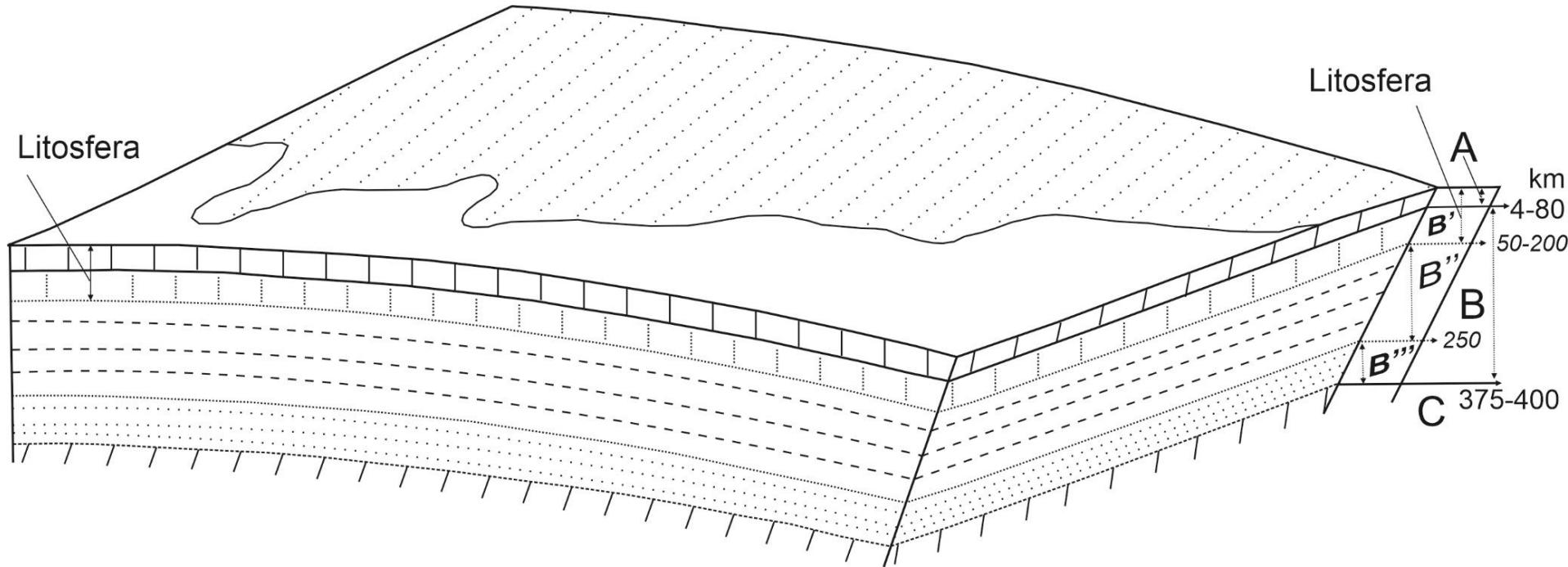
B. Mantaua superioară – începe de la discontinuitatea Moho, până la o adâncime de CCA. 400 km;

În funcție de variația vitezelor undelor seismice în cadrul mantalei superioare s-au separat trei diviziuni notate cu B', B'' și B'''.

- B' (litosfera inferioară) - are o grosime medie de 50-70 km sub oceane și de 150-200 km sub scuturile continentale. Este alcătuit din roci ultrabazice, cu densități de 3,3-3,5 g/cm³.

- B'' (astenosfera = strat de viteză redusă) - viteza undelor seismice scade. Se extinde până la adâncimea de 250 km. Materia se găsește în apropierea limitei dintre lichid și solid, stare denumită *solidus*. În astenosferă iau naștere curenții de convecție. Topiturile magmatice din astenosferă, după unele estimări, ar reprezenta numai 2% din volumul total.

- B''' - se extinde până la 375-400 km, fiind mult mai omogen decât primele două.



În teoriile dinamice moderne stratului de viteză redusă îi revine un rol foarte important fapt pentru care partea superioară a Globului a fost împărțită în raport cu acesta. Astfel, **scoarța plus stratul B' formează litosfera**, în care viteza undelor seismice crește continuu, cu o săritură pe Moho.

În mod similar, **stratul B'' din mantaua inferioară** are un rol major în circuitul geologic al globului și, implicit, în dinamica litosferică.

Litosfera este divizată în plăci tectonice, care se găsesc în mișcare pe astenosferă

C. Zona de tranziție

– se extinde de la adâncimi de 375-400 km până la 670 km, zona de fuziune integrală a plăcilor tectonice subduse. Inițial, Gutenberg în 1948 a separat mantaua de tranziție între 400 și 1000 km adâncime (discontinuitatea Repetti)

D. Mantaua inferioară (mezosfera)

– Se extinde de la 670 km până la 2900 km, la D. Gutenberg. Neomogenitățile din mantaua inferioară au condus la separarea stratelor D' și pe ultimii 200 km stratul D". Este formată din silicați feromagnezieni și sulfuri metalice de Cr, Ni, Fe.

D" are caracteristicile unui strat de viteză redusă a undelor seismice. În acest strat sunt configurate zonele anormale Jason și Tuzo, din care provin curenții de materie și energie care conduc la formarea panașelor de manta și determină deschiderea rifturilor continentale și vulcanismul de hot spot

E. Nucleul extern

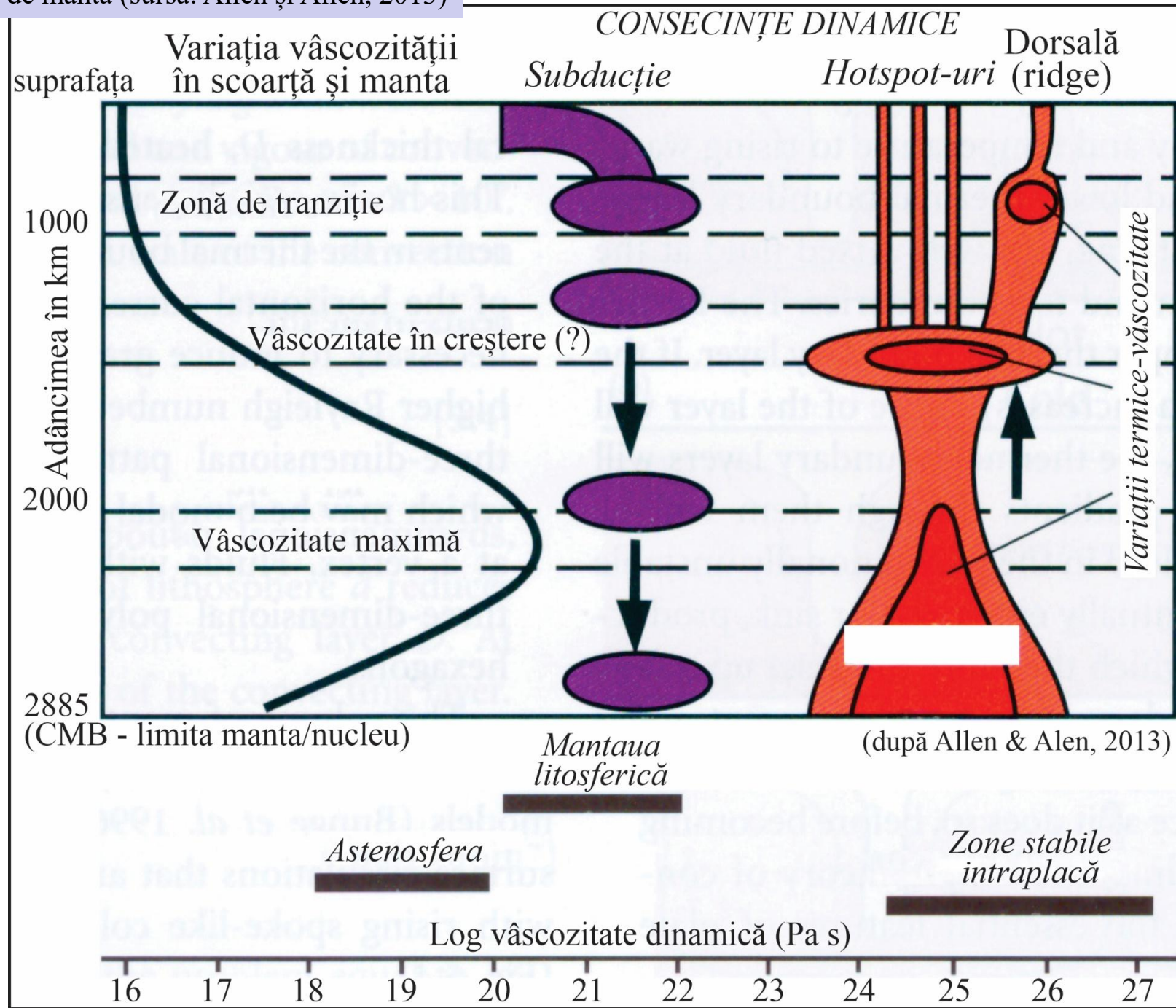
– se întinde de la 2900 km (mai precis de la $2\ 898\text{ km} \pm 3\text{ km}$) până la 4980 km. Este în stare lichidă, motiv pentru care nu este străbătut de undele seismice de forfecare S. Datorită stării lichide a materiei, se formează curenți de convecție, responsabili de formarea zonelor anormale din stratul D".

F. Zona de tranziție

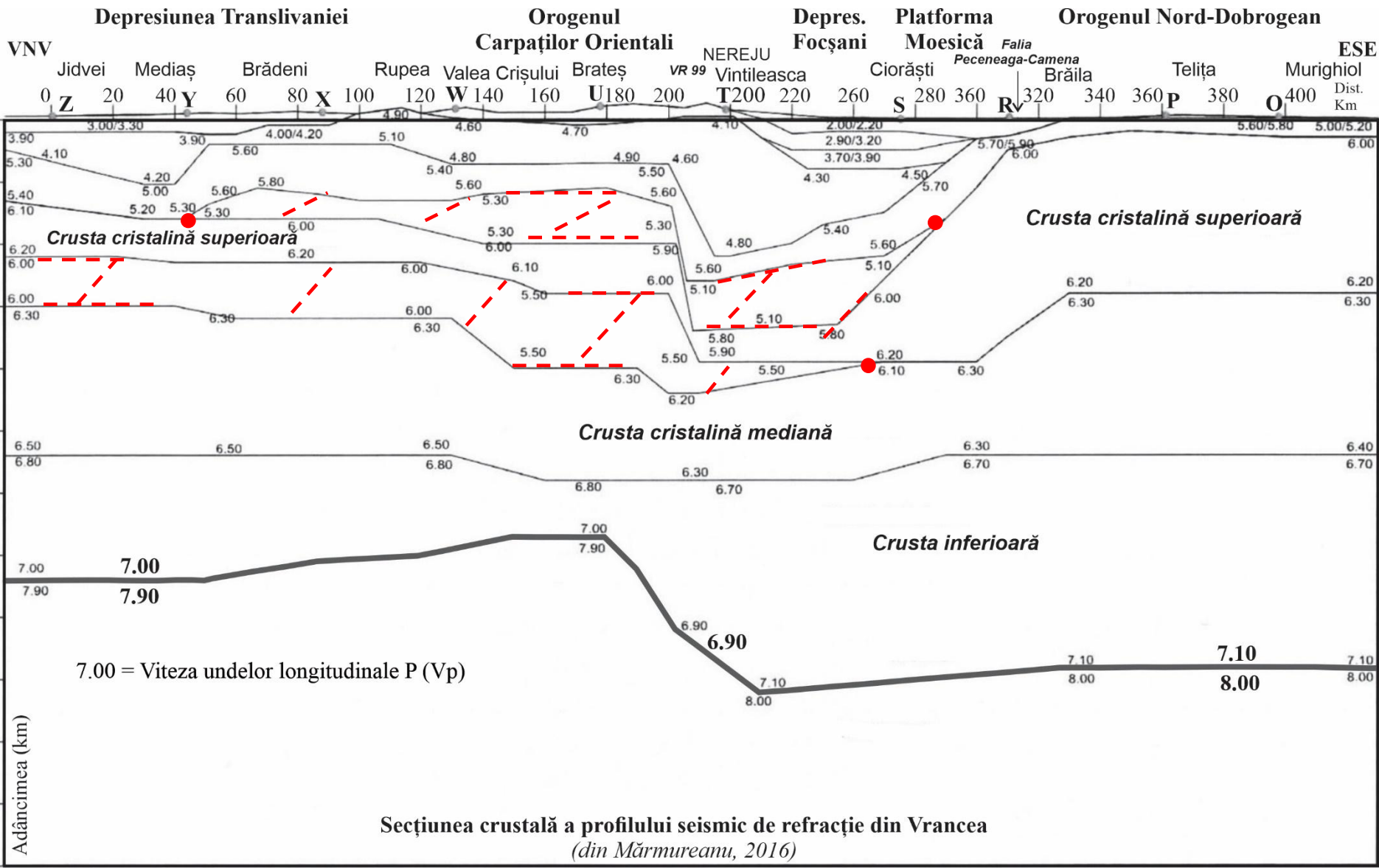
– ar avea o grosime de cca. 140 km, fiind caracterizată de prezența mai multor suprafețe de discontinuitate care fac trecerea spre nucleul intern.

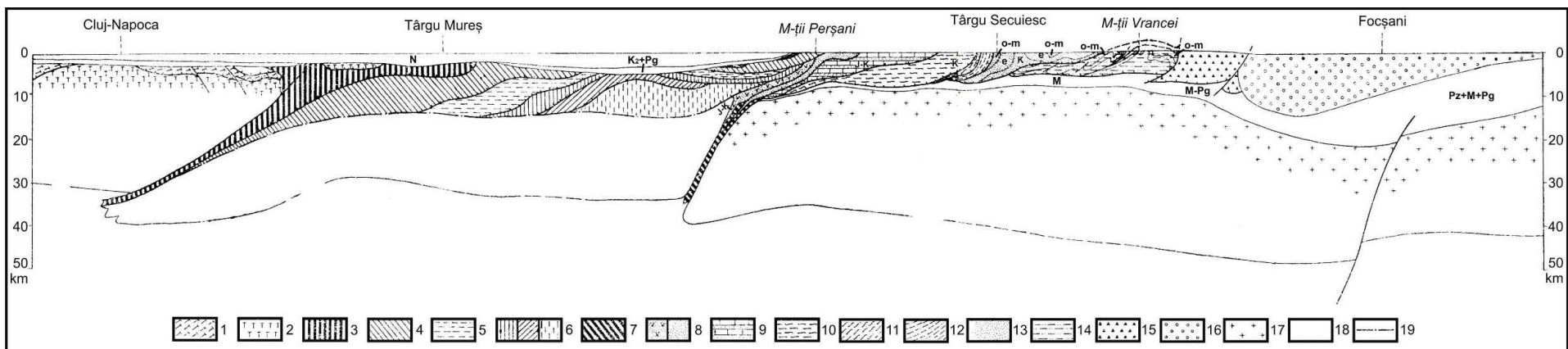
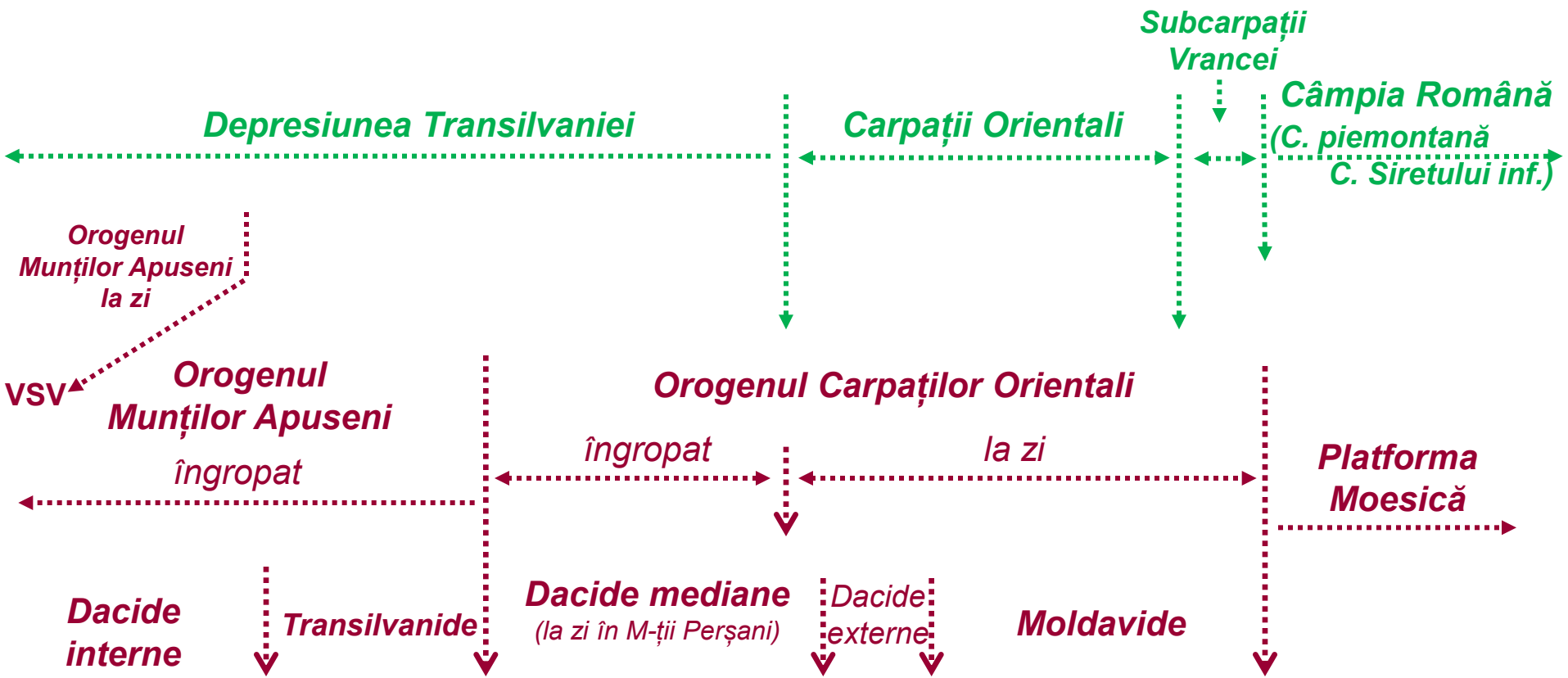
G. Nucleul intern

– este considerat o sferă cu o rază de 1250 km, cuprins între 5120 km și centrul Pământului, alcătuit din Ni și Fe, cu o densitate cuprinsă între 11 și 15 g/cm³.



(după Allen & Alen, 2013)





1 - Unitățile dacicice interne (pânzele tectonice); 2 - Autohtonul de Bihor; 3 - Transilvanide; 4-6. Dacide mediane (4 - Pânza bucovinică; 5 - Pânza subbucovinică; 6 - pânzele infrabucovinice); 7 - sutura dacică externă; 8-9. Dacide externe (8 - pânzele flișului negru și de Baraolt; 9 - Pânza de Ceahlău); 10-15. Moldavide (10 - Pânza de Teleajen; 11 - Pânza de Macla; 12 - Pânza de Audia; 13 - Pânza de Tarcău; 14 - Pânza de Vrancea; 15 - Pânza subcarpatică); 16 - Avanfosa s.s. (foredeep); 17 - formațiuni metamorfice subșariate (soclu platformic); 18 - formațiuni sedimentare subșariate (cuvertura platformică); 19 - plane de forfecare intracrustală în domeniul central-est-carpatic.

(după Săndulescu, 1984)

3. CÂMPURILE FIZICE ALE PĂMÂNTULUI

În Universul fizic forțele care determină stabilitatea/evoluția Universului, acționează în spații specifice, denumite **câmpuri fizice**.

Particulelor materiale le sunt asociate forțe, de exemplu:

- din masa fiecăreia, invariabil, în orice punct al Universului, decurge **forța atracției universale (gravitația)**;
- din sarcinile electrice de semn contrar decurg **forțele electrice de atracție și de respingere**;
- forțele electrice produc la rândul lor **forțele electromagnetice**, de asemenea dipolare;
- din contracția particulelor apar **forțele nucleare** însoțite de **energie termică**, considerate „embrionul” rotației și a lanțului reacțiilor termonucleare, adică motorul transformării materiei.

Forțele fundamentale care determină coeziunea **materiei**:

- *interacțiunea „forte”* = **interacțiunea nucleară**;
- *interacțiunea electromagnetică* = **interacțiunile sarcinilor electrice și magnetice**;
- *interacțiunea slabă* = **interacțiunile din dezintegrarea β** ;
- *interacțiunea gravitației* = asigură coeziunea galaxiilor, stelelor, planetelor și tuturor corpurilor naturale, cu masă.

3.1. Gravitația

3.1.1. Densitatea

3.1.2. Presiunea

3.2. Câmpul magnetic terestru

3.3. Energia calorică

3.1. GRAVITAȚIA

Spațiul în care corpurile sunt grele, adică în care se resimte simultan atracția maselor și mișcarea de rotație a Globului, se numește câmp gravific sau câmpul gravității (= gravisfera).

Câmpul gravității realizează coeziunea tuturor părților componente ale planetei, cu forțe proporționale cu masa și invers proporționale cu distanța dintre acestea.

Câmpul gravitațional este caracterizat de:

- intensitate ($g_i = mg$) și accelerația gravitațională (g [cm/s^2]);
- unitatea de măsură pentru intensitate în SI = gal (1 gal = o forță care imprimă o accelerație gravitațională de 1 cm/s^2).

În cazul Pământului, intensitatea/accelerația gravitațională ale câmpului gravitațional nu au o valoare uniformă:

a. La suprafața terestră - se explică prin diferența de rază și acțiunea forței centrifuge care are este nulă la poli și maximă la ecuator:

- la poli = 983 gali;
- la ecuator = 973 gali;
- valoarea medie calculată = 981 gali (la Potsdam); România = 980,6 gali

b. În adâncime

ÎNVELIȘUL	ZONA	DISCONTINUITĂȚI Km	VITEZA UNDELOR P (Km/s)	VITEZA UNDELOR S (Km/s)	DENSITATE (g/cm ³)	GRAVITAȚIA (cm/s ²)	PRESIUNEA X 10 ¹² (dyne/cm ²)	TEMPE- RATURA (C ⁰)	COMPORTAMENT FIZIC (STARE DE AGREGARE)	COMPOZIȚIE CHIMICĂ				
											CRUSTA (SCOARȚA)	LITOSFERA		
CRUSTA (SCOARȚA)	Strat granitic	A	CONRAD 20	5,6	3	2,7	981	0,01	450	Solid eterogen	Silicați de Al	SIAL	CRUSTA (SCOARȚA)	LITOSFERA
	Strat bazaltic			6,5	3,7					Solid omogen	Silicați de Mg	SIMA		
MANTA	Mantaua superioară	B	MOHOROVICIČ 30-70	6,9	4,7	3,0	935	0,09	1177	Plastic	Silicați de Al, Fe, Mg	SIMA	100	Astenosfera
	Zona de tranziție			8,1		3,3								
	Mantaua inferioară	C	REPETTI 670	11,4	6,4	4,7	995	0,39	1728	Solid	Oxizi de Si, Fe, Mg și metasilicați		MANTA	MEZOSFERA
NUCLEU	Nucleul extern	E	WIECHERT- GUTENBERG 2900	11,36	7,3	6,7	1030	1,37	2111	Fluid omogen	Ni - Fe	NIFE	NUCLEU	CENTROSFERA
	Zona de tranziție			8,10		9,7								
		LEHMAN 4980	10,44	11,5	3,17									
	Nucleul intern	G	OLDHAM- GUTENBERG 5120	11,26						Solid rigid	Ni - Fe (10% - 30%)			
	6370			11,3										

(după Bleahu, 1983)

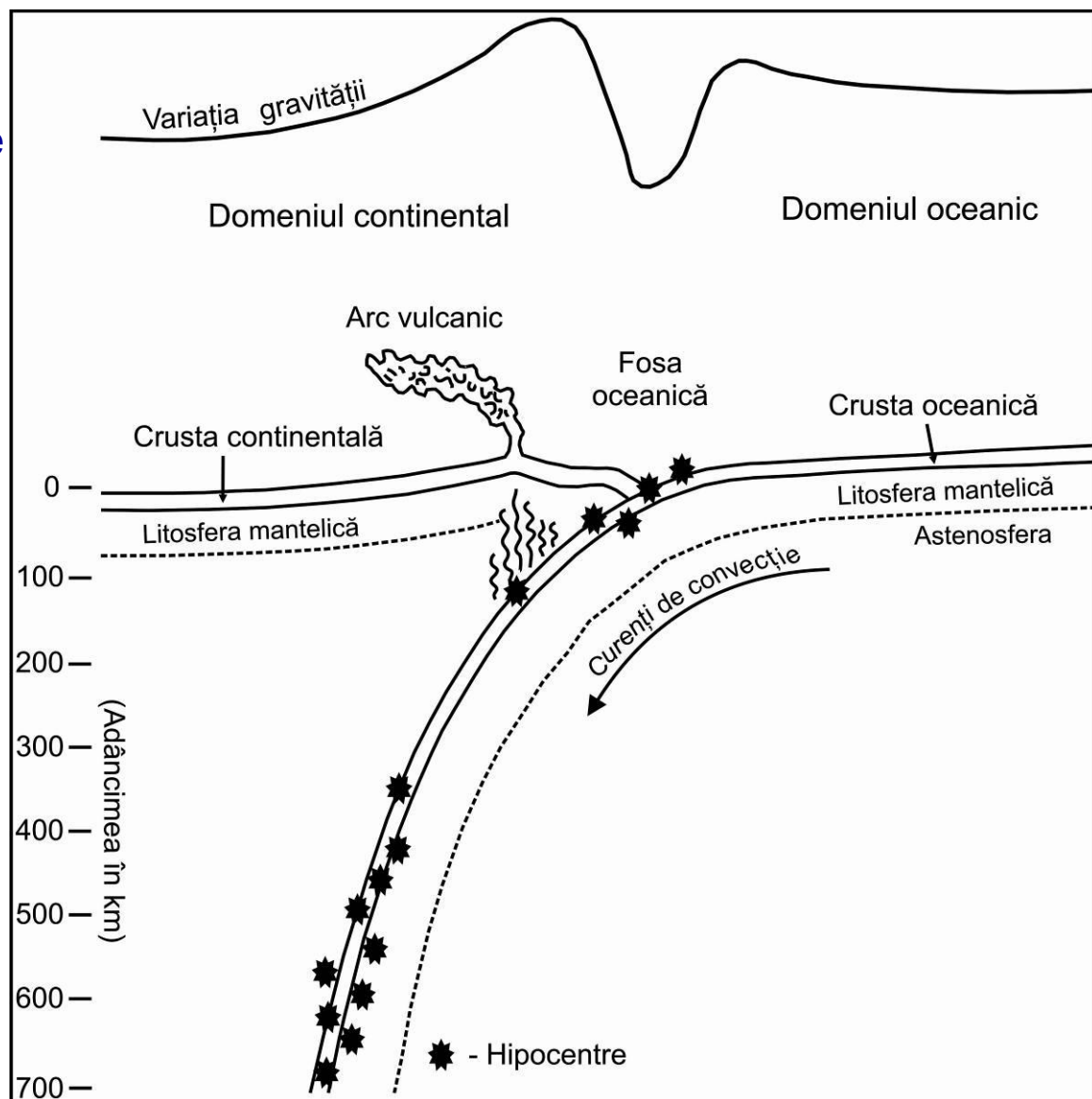
Masa unității de volum este o constantă având aceeași valoare în orice punct al Universului.

Greutatea este o forță proporțională cu masa corpului și accelerația gravitațională.

Greutatea corpurilor de la suprafața terestră variază în funcție de latitudine și altitudine:

- **la poli** un obiect este cu 5% mai greu decât la ecuator;

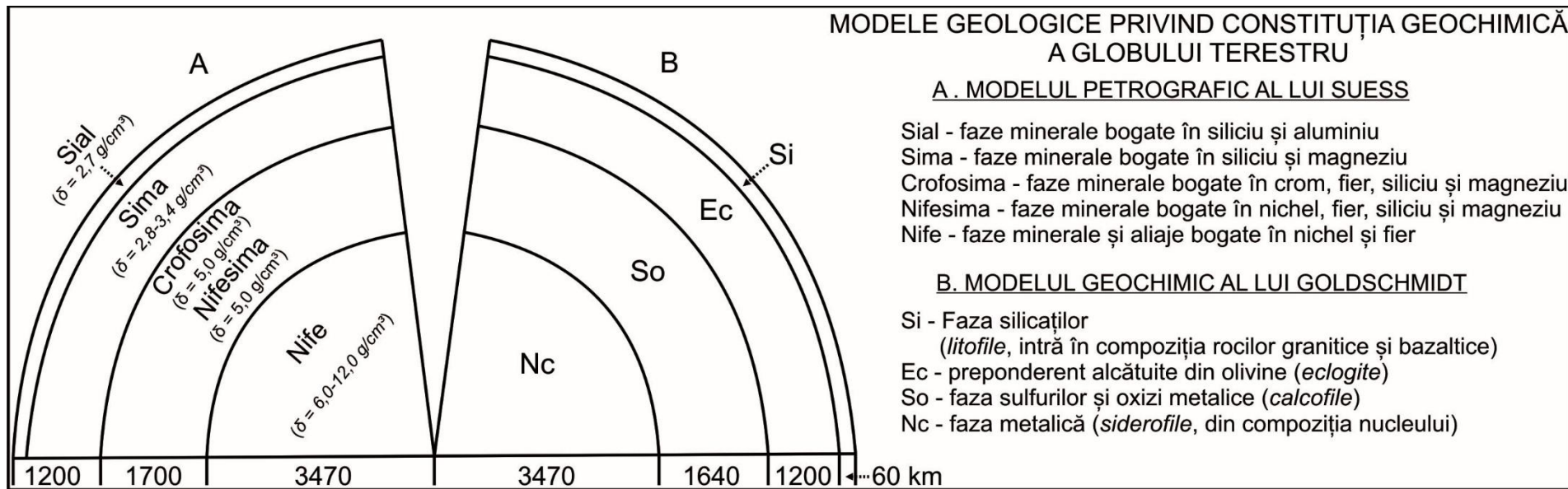
- **la o altitudine egală cu raza medie terestră**, greutatea corpurilor este de patru ori mai mică decât la nivelul mării.



(după D.H. și M.P. Tarling, 1978)

3.1.1. DENSITATEA

Primele modele gravimetrice privind estimarea densităților geosferelor interne, sunt reprezentate de modelul petrografic al lui Suess (1909) și modelul geochimic al lui Goldschmidt (1922).



3.1.2. PRESIUNEA

Presiunea litostatică (= presiunea hidrostatică) - este determinată de greutatea coloanei de roci și crește cu adâncimea. Este estimată la 0,5 mil. atm. în mantaua sup., 1,3-1,6 mil. atm. la limita manta/nucleu și ajunge la 3,7-3,9 mil. atm. în centrul Globului.

- **Calculul variației presiunii** - în lungul razei terestre se calculează în funcție de variația densității și a accelerației gravitaționale. Constă din determinarea greutateii unei coloane de materie terestră pe unitatea de suprafață, la o anumită adâncime, conform legilor hidrostatiticii (se consideră că într-un punct din adâncime acționează numai forța rezultată din greutatea coloanei de roci, pe verticală).

$P = H \times S \times \delta \times g$, unde:

H = adâncimea coloanei;

S = suprafața unitară;

δ = densitatea medie a materialului din coloană;

g = accelerația gravitațională.

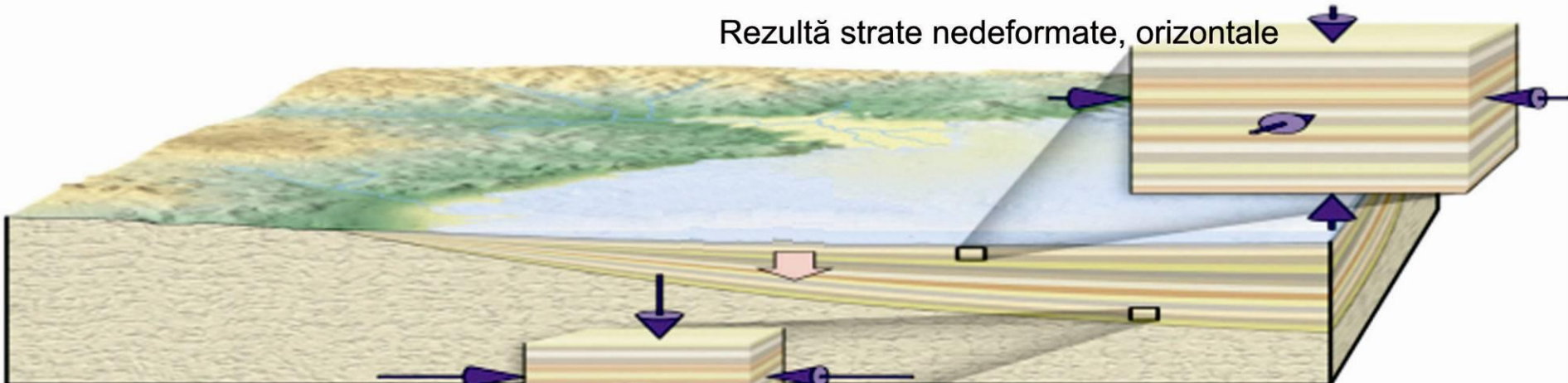
Acțiunea presiunii litostatice determină compactarea rocilor, evacuarea apei din pori *etc.*

Presiunea orientată (stressul) - se manifestă în scoarța terestră cu o valoare maximă pe o anumită direcție și determină apariția șistozității rocilor metamorfice, formarea cutelor, faliilor, șariajelor *etc.*

A. Presiunea gravitațională, nedeformațională

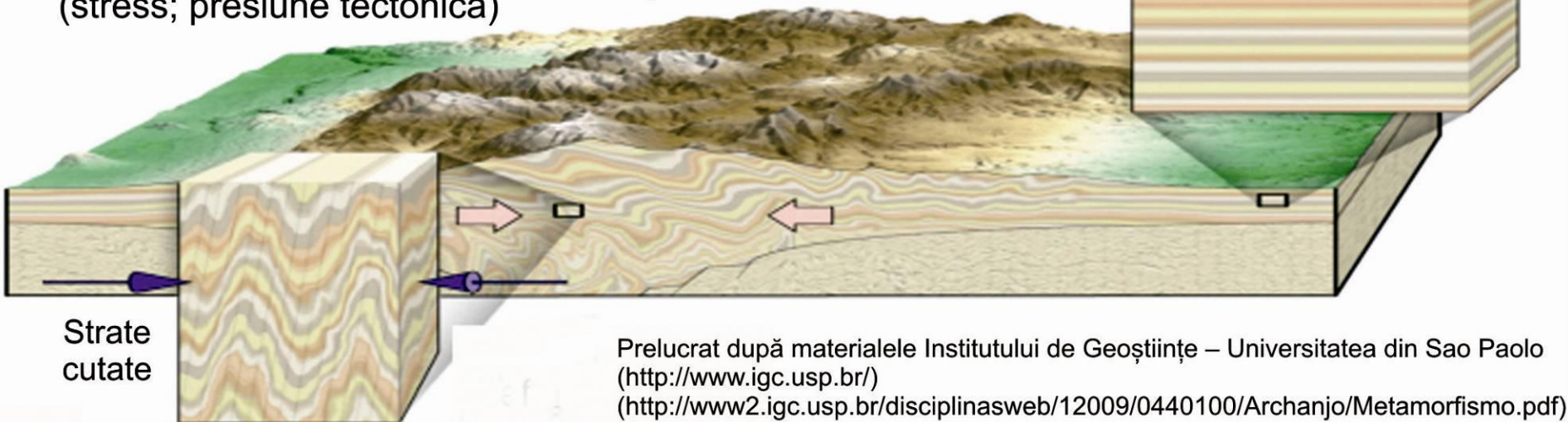
Componentele verticale și orizontale ale presiunii rezultante care acționează asupra paralelipipedului sunt egale și de semn contrar (originea sistemului de referință coincide cu centrul de greutate al paralelipipedului) => **strate nedeformate**

Rezultă strate nedeformate, orizontale



B. Presiunea orientată, deformațională (stress; presiune tectonică)

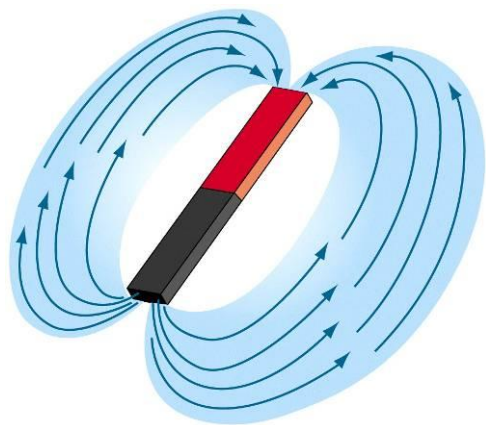
Strate nedeformate, orizontale



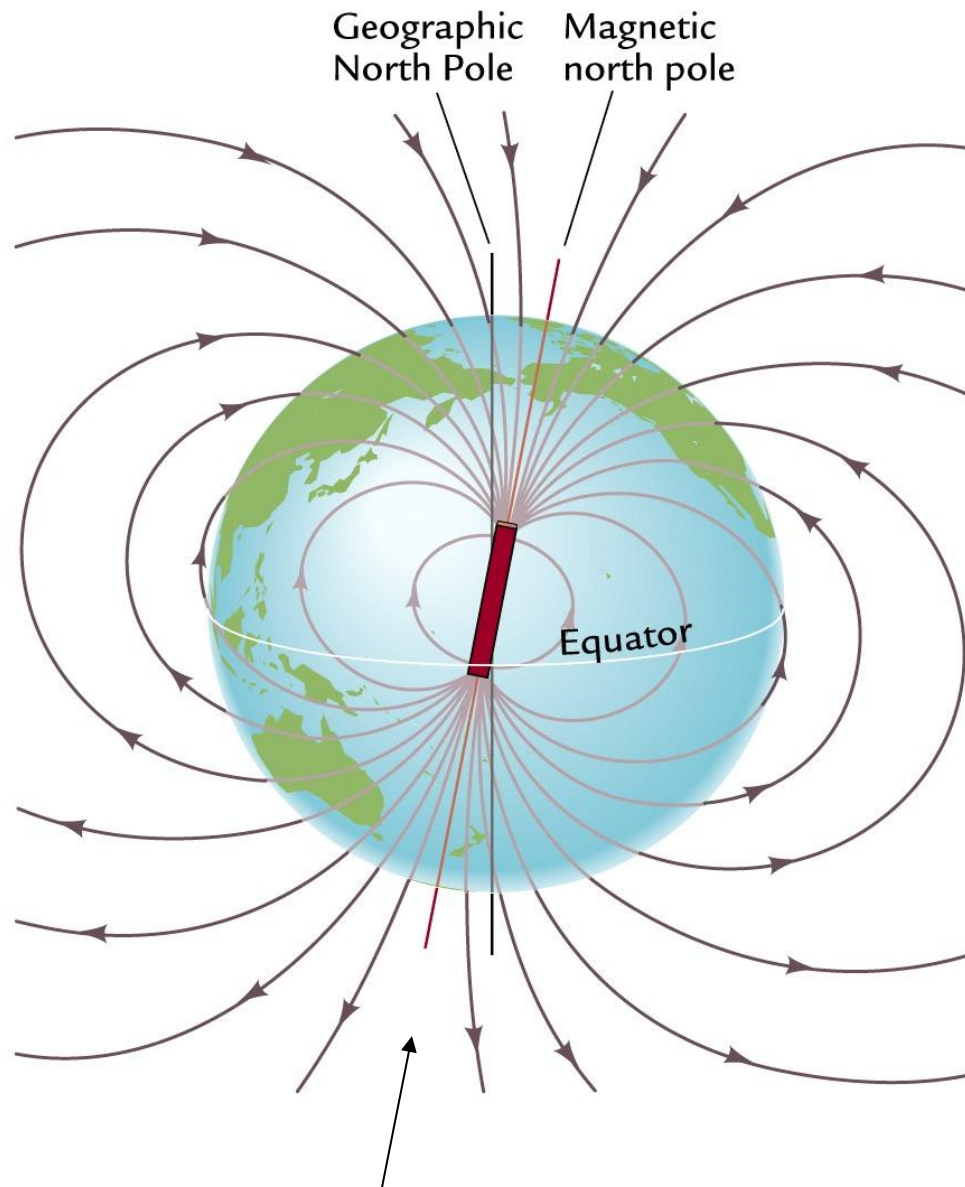
3.2. CÂMPUL MAGNETIC TERESTRU

Globul terestru se comportă ca un *magnet gigant*, mai precis ca un dipol geomagnetic, fiind înconjurat de un câmp magnetic denumit *magnetosferă*.

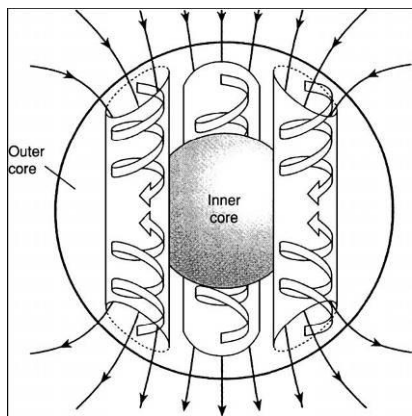
- acesta se extinde în jurul Terrei pe o distanță de 10-100 raze pământești.
- liniile de forță ale câmpului magnetic ies din *polul sud* și intră prin *polul nord*;
- elementele spațiale ale câmpului geomagnetic nu se suprapun rețelei geografice - astfel *polul nord magnetic* real se găsește în *vestul Groenlandei*, iar *axa geomagnetică* care unește polii magnetici nu coincide cu axa de rotație a Pământului, *axa polilor magnetici trecând pe la 1100 km față de centrul Pământului*;
- existența câmpului magnetic a constituit *una dintre condițiile apariției vieții* pe Pământ; fără acest *scut protector* razele cosmice ar fi distrus orice germene organic;
- genetic, magnetismul terestru este legat de: structura geosferică și compoziția chimico-mineralogică a Globului, mișcările acestuia și prezența curenților de convecție în nucleul extern al Pământului

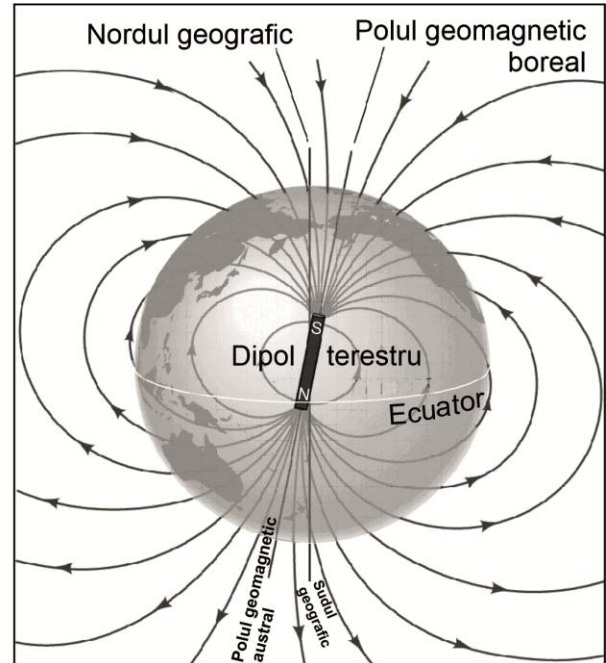
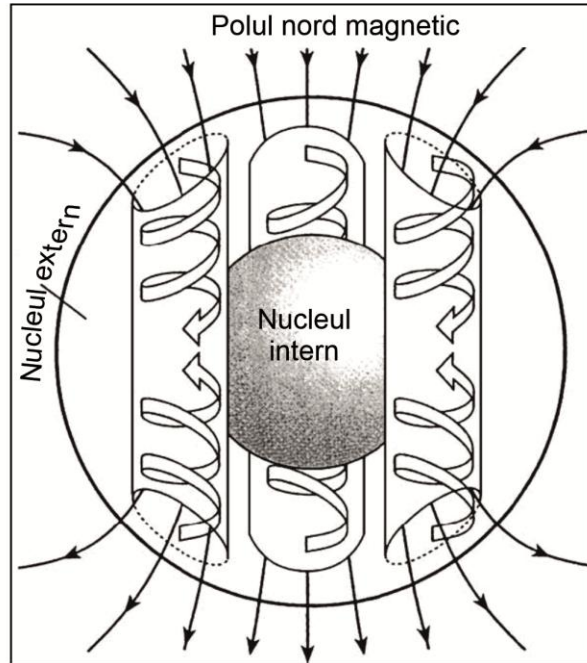
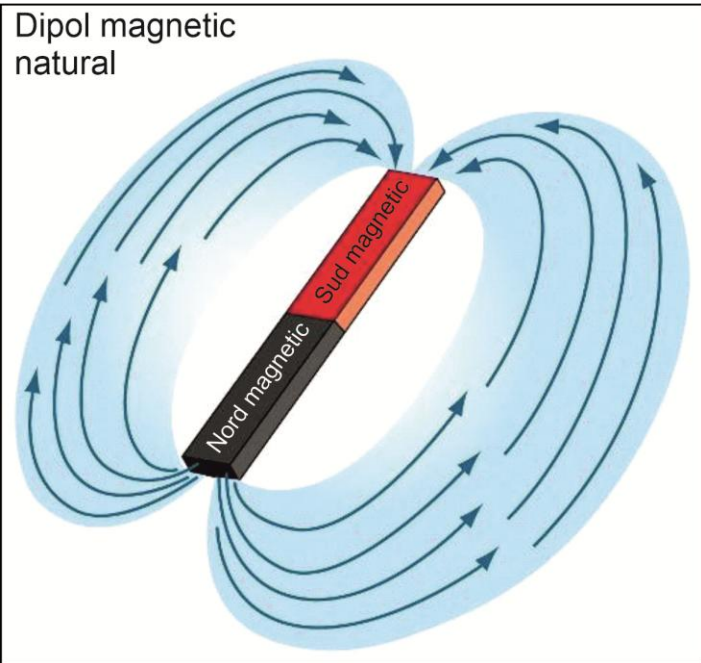


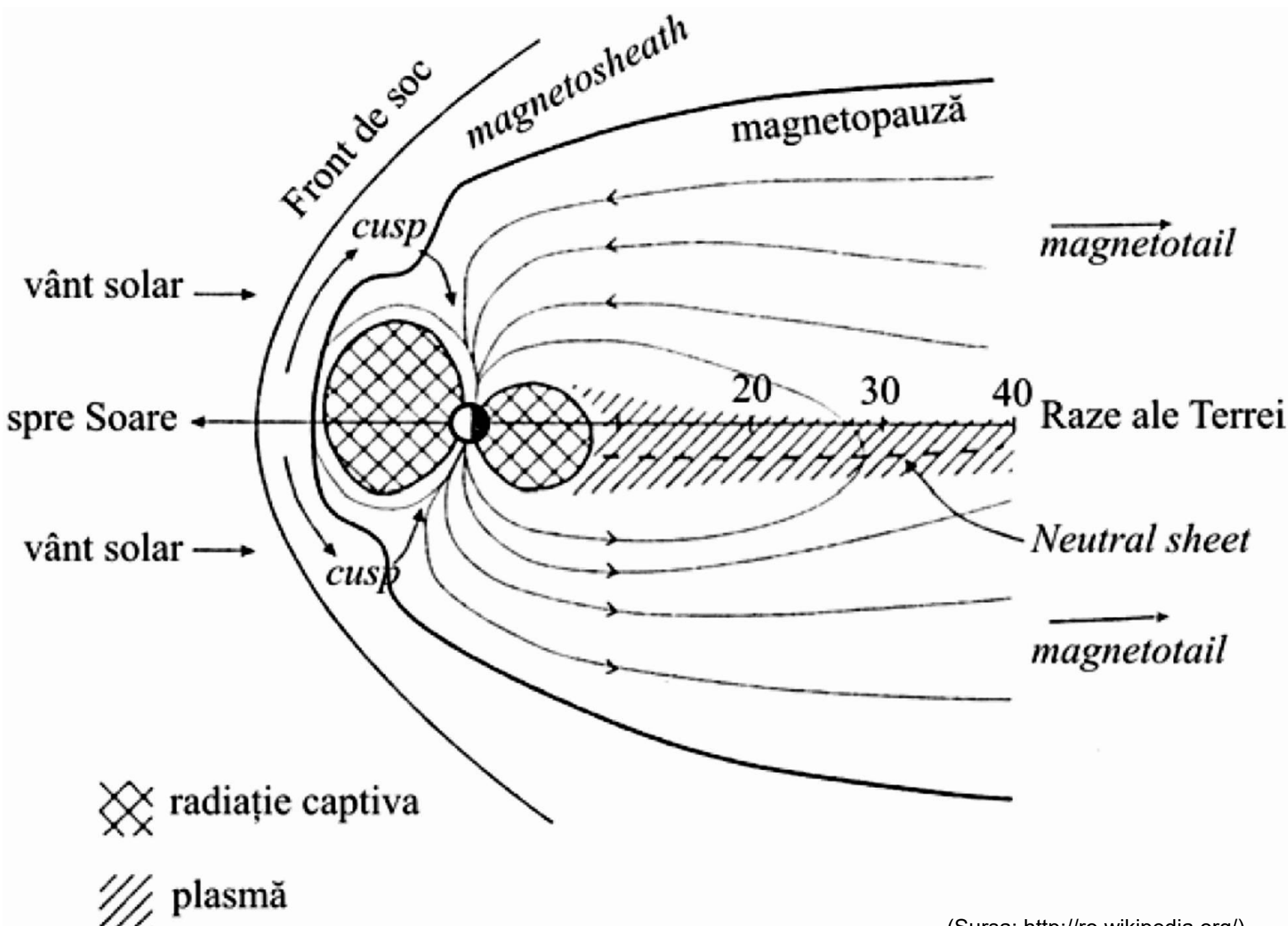
Dipol magnetic



Câmp magnetic terestru

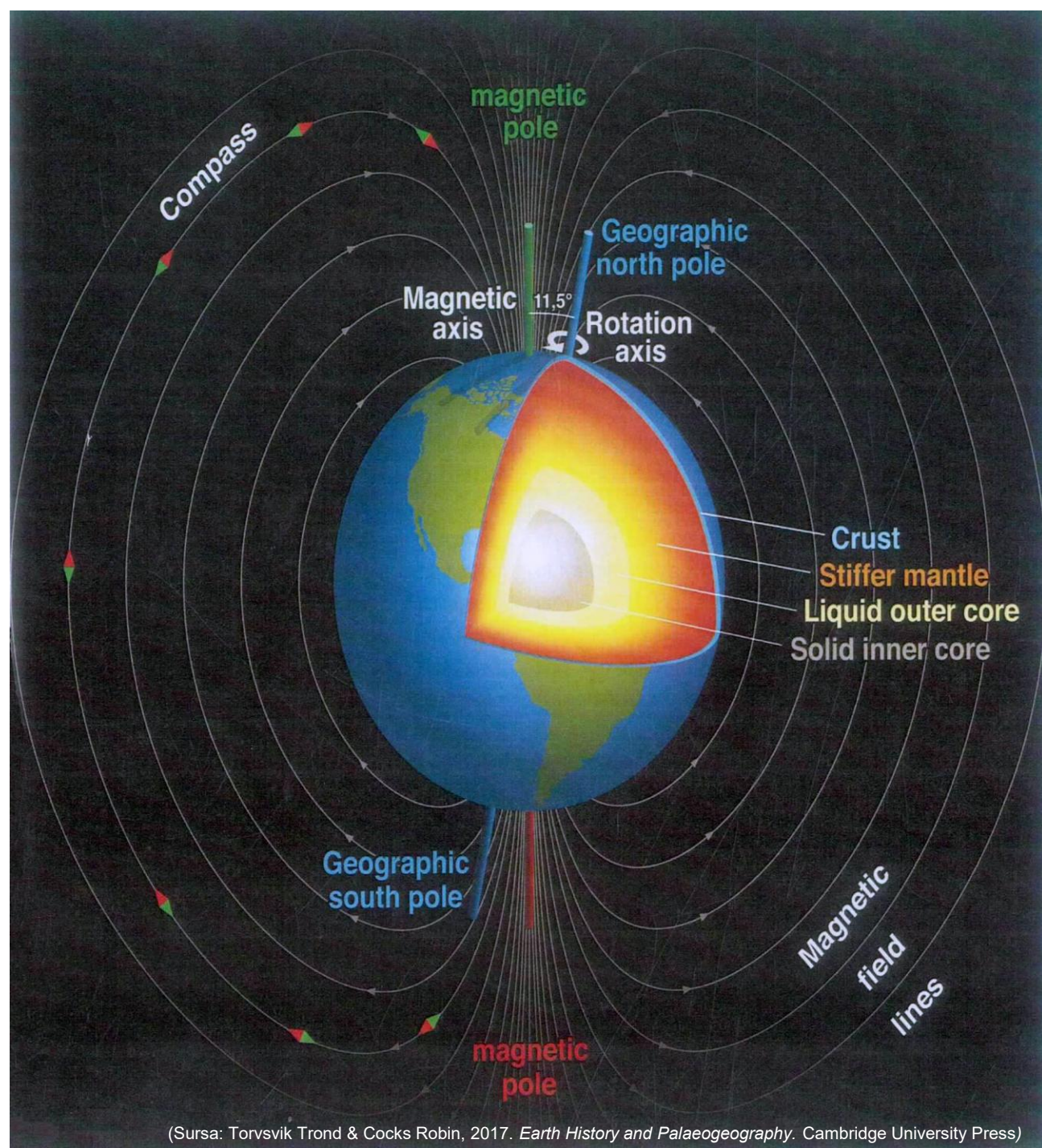


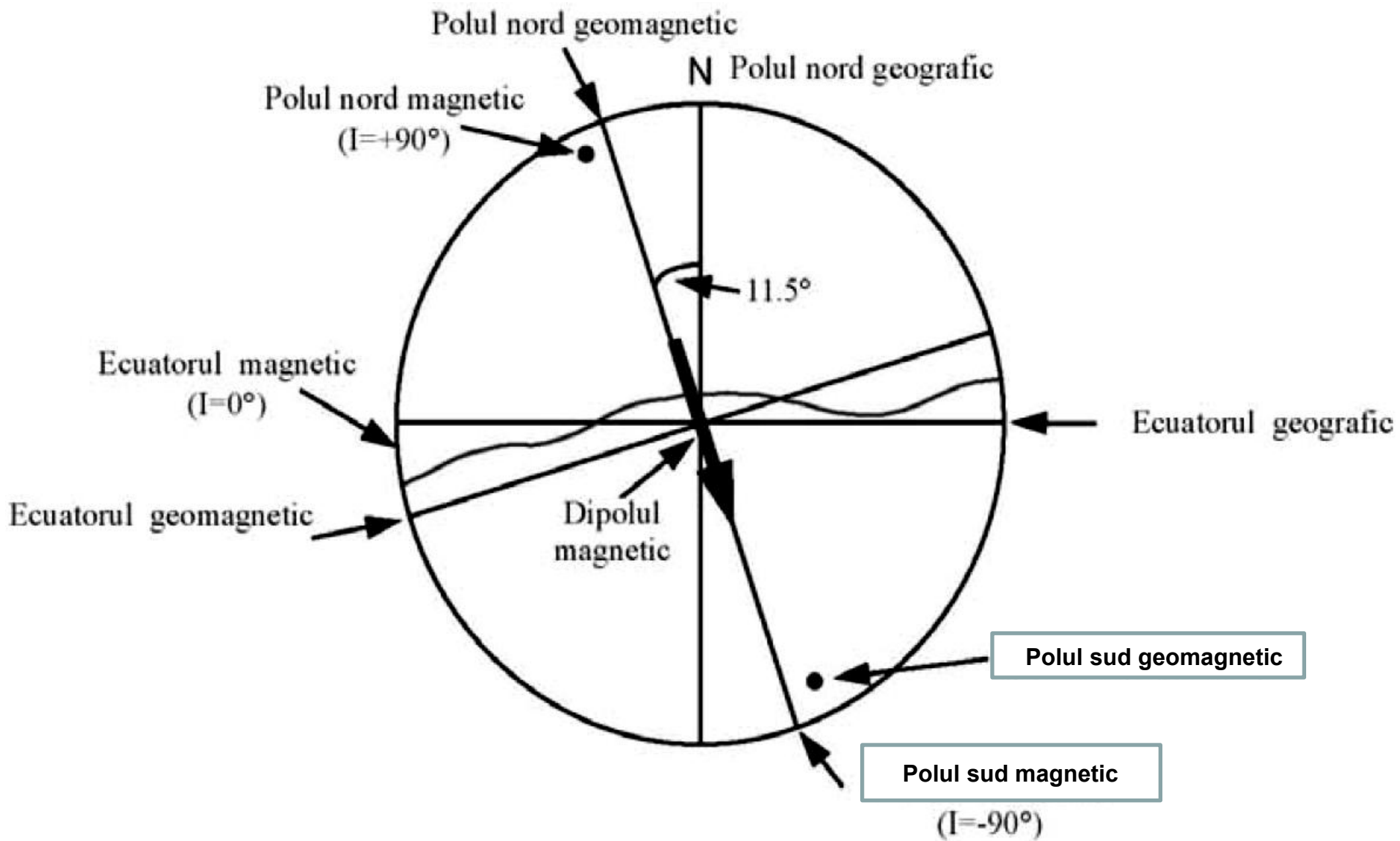




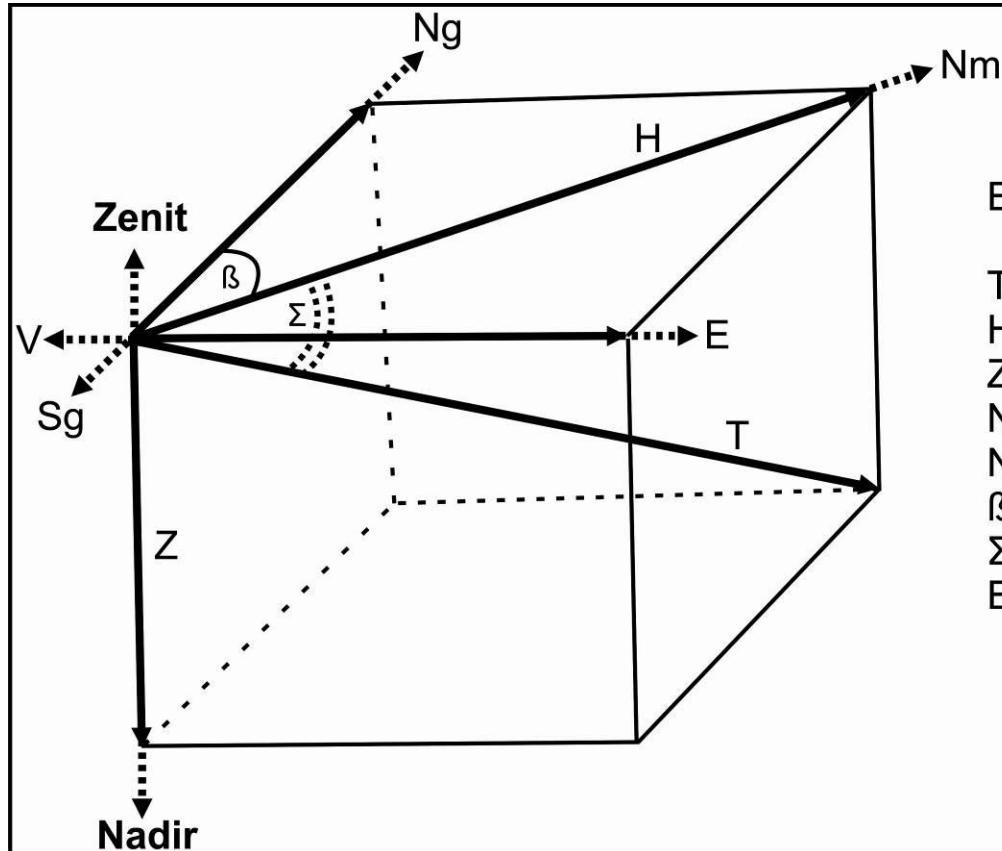
(Sursa: <http://ro.wikipedia.org/>)

CÂMPUL MAGNETIC





(după D.H. și M.P. Tarling, 1978)



ELEMENTELE CÂMPULUI MAGNETIC TERESTRU

- T - Câmpul magnetic total
- H - Componenta orizontală a câmpului magnetic
- Z - Componenta verticală a câmpului magnetic
- Nm - Nordul magnetic
- Ng - Nordul geografic
- β - Unghiul de declinație magnetică
- Σ - Inghiul de înclinație magnetică
- E, V, Sg - Punctele cardinale: est, vest, sud

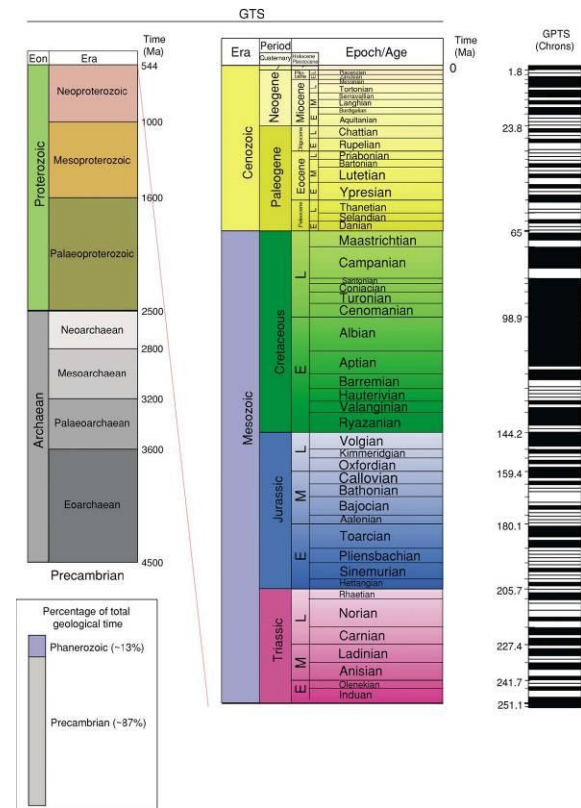
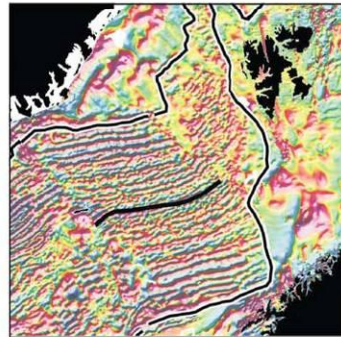
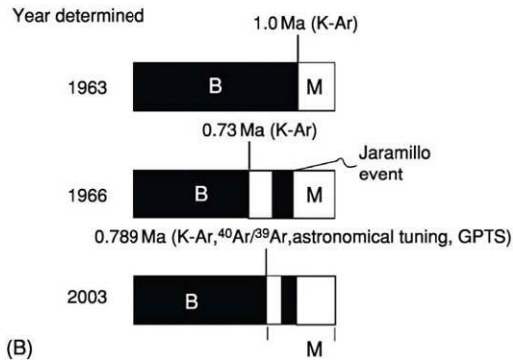
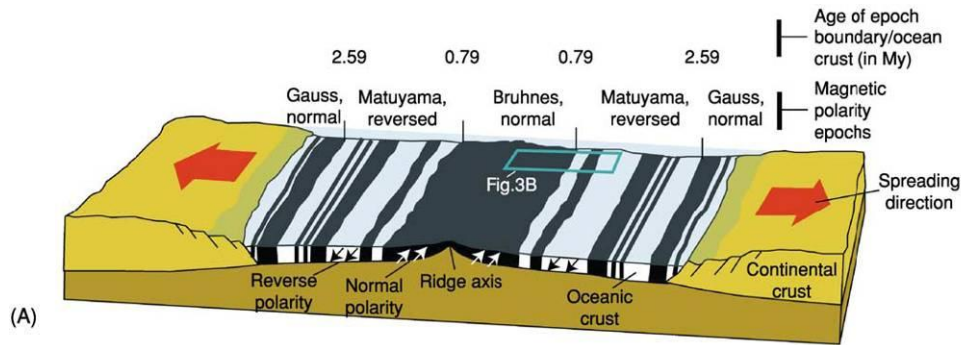
(după Lăzărescu, 1980; Olaru et al., 2004)

1. Intensitatea câmpului magnetic care se măsoară în amper/metru (A/m) (sau unități neconvenționale gamma, unități de inducție și de câmp): la *ecuator* - 25000 gamma și la *poli* - 70000 gamma. Pentru acest parametru se elaborează ***hărții cu izodiname***, hărți pe care se figurează ***anomaliile magnetice*** legate de prezența în subsol a unor corpuri feromagnetice.

2. Declinația magnetică reprezintă unghiul dintre direcția nordului magnetic și direcția nordului geografic într-un punct dat și se măsoară în grade. Liniile care unesc punctele cu aceeași valoare a ***declinației magnetice se numesc izogone***.

3. Înclinația magnetică este unghiul dintre orizontala locului și direcția liniilor de forță ale câmpului, valoarea acestuia fiind 0° la ecuator și 90° la poli. ***Liniile de aceeași valoare a înclinației magnetice sunt izoclinele***.

PALEOMAGNETISMUL = MAGNETISMUL REMANENT

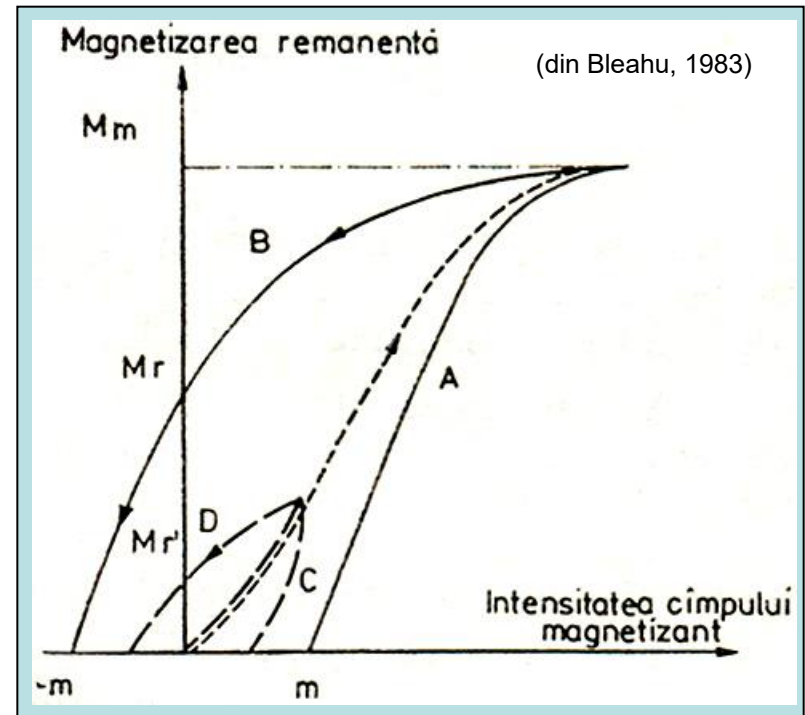


VARIAȚIA SECULARĂ - Încă din 1634 *Gellibrand* a descoperit că declinația magnetică a Londrei variază periodic în timp, de la un an la altul. Fenomenul a fost denumit ulterior ***variație seculară***, constatându-se că ea afectează și înclinația și intensitatea câmpului magnetic. Din analiza hărților cu izolinii (***hărți cu izogone, cu izocline sau cu izodiname***) s-a observat o migrație a polului boreal spre vest, **cu $0,18^\circ$ long./an**. Aceasta semnifică că o **rotație completă a polilor magnetici se realizează la cca. 2000 ani**.

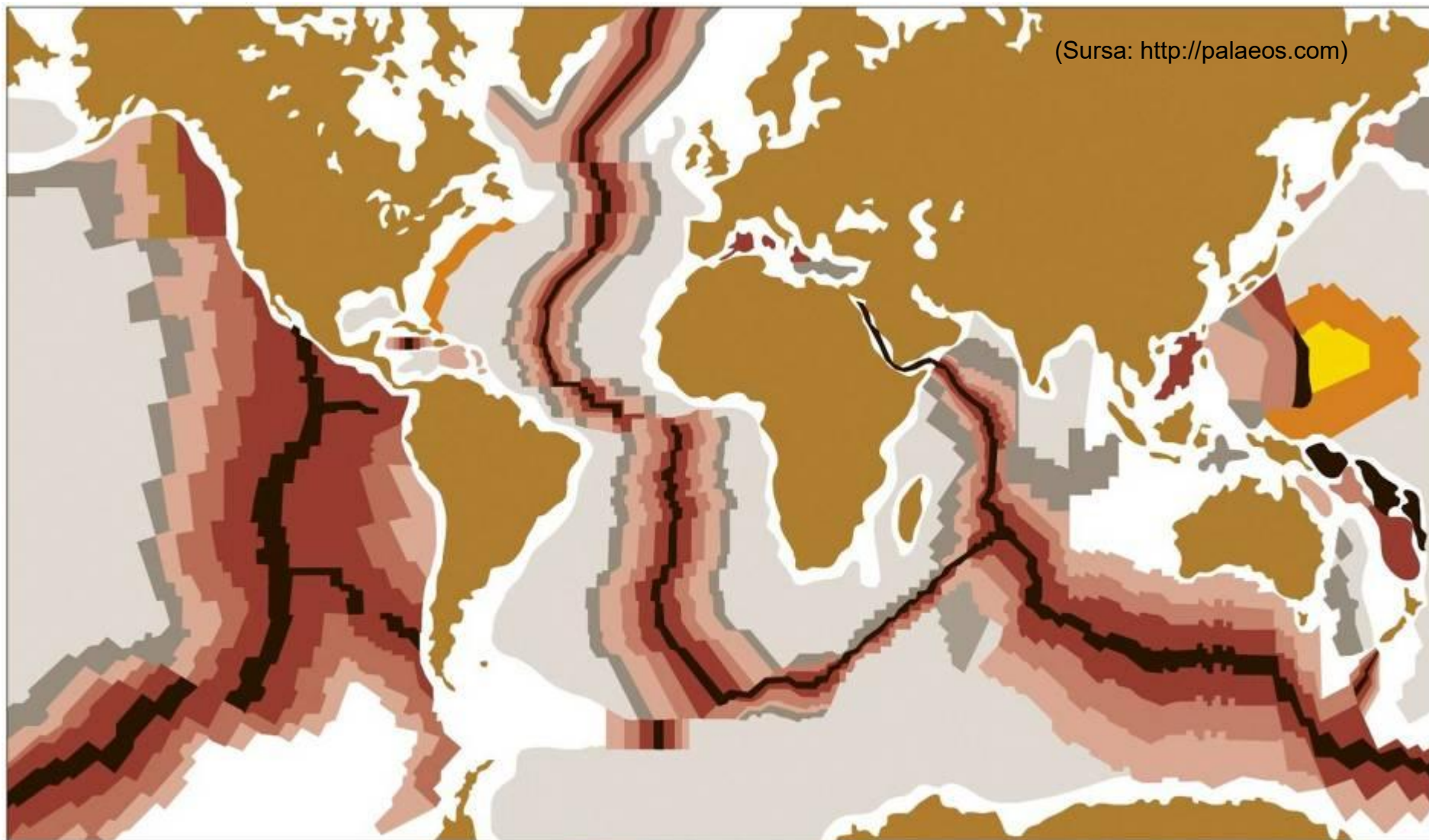
În mod similar, în decursul timpului geologic au avut loc **inversiuni ale polarității terestre**, cei doi poli schimbându-și poziția, astfel încât intervalele de timp în care polul nord geomagnetic se afla în emisfera nordică (geografic), se numesc **zone de polaritate normală**, iar cele în care polul nord geomagnetic se găsește în emisfera sudică se numesc **zone de polaritate inversă**. Rocile și mineralele se magnetizează în direcția câmpului magnetic existent, acesta păstrându-se în roci cu intensități reduse și după încetarea acțiunii câmpului inițial. Acest magnetism a fost denumit **magnetism remanent**.

Magnetizarea remanentă, genetic, poate fi:

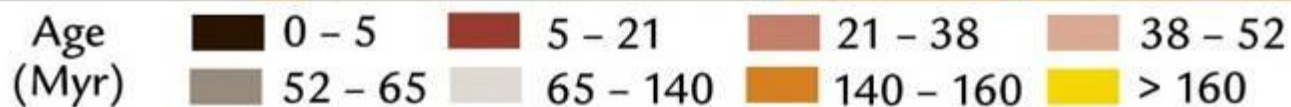
- **termoremanentă;**
- **remanentă detritică;**
- **remanentă chimică;**
- **remanentă vâscoasă.**



DISPUNEREA SIMETRICĂ A ROCILOR CU VÂRSTE DIFERITE, DE LA CELE MAI TINERE ÎN ZONA RIFTULUI LA CELE VECHI SPRE FOSELE OCEANICE



(Sursa: <http://palaeos.com>)



3.3. ENERGIA CALORICĂ

SURSE DE ENERGIE CALORICĂ

1. Căldura externă

- energia calorică externă provine în întregime de la Soare și este neuniform distribuită la suprafața Globului, datorită formei și înclinării axei de rotație față de planul de revoluție;
- constanta solară măsurată la limita superioară a atmosferei este 1,9 cal/cm²/minut, iar cantitatea totală de căldură este de 90000 x 10¹² wați/an.

2. Căldura internă

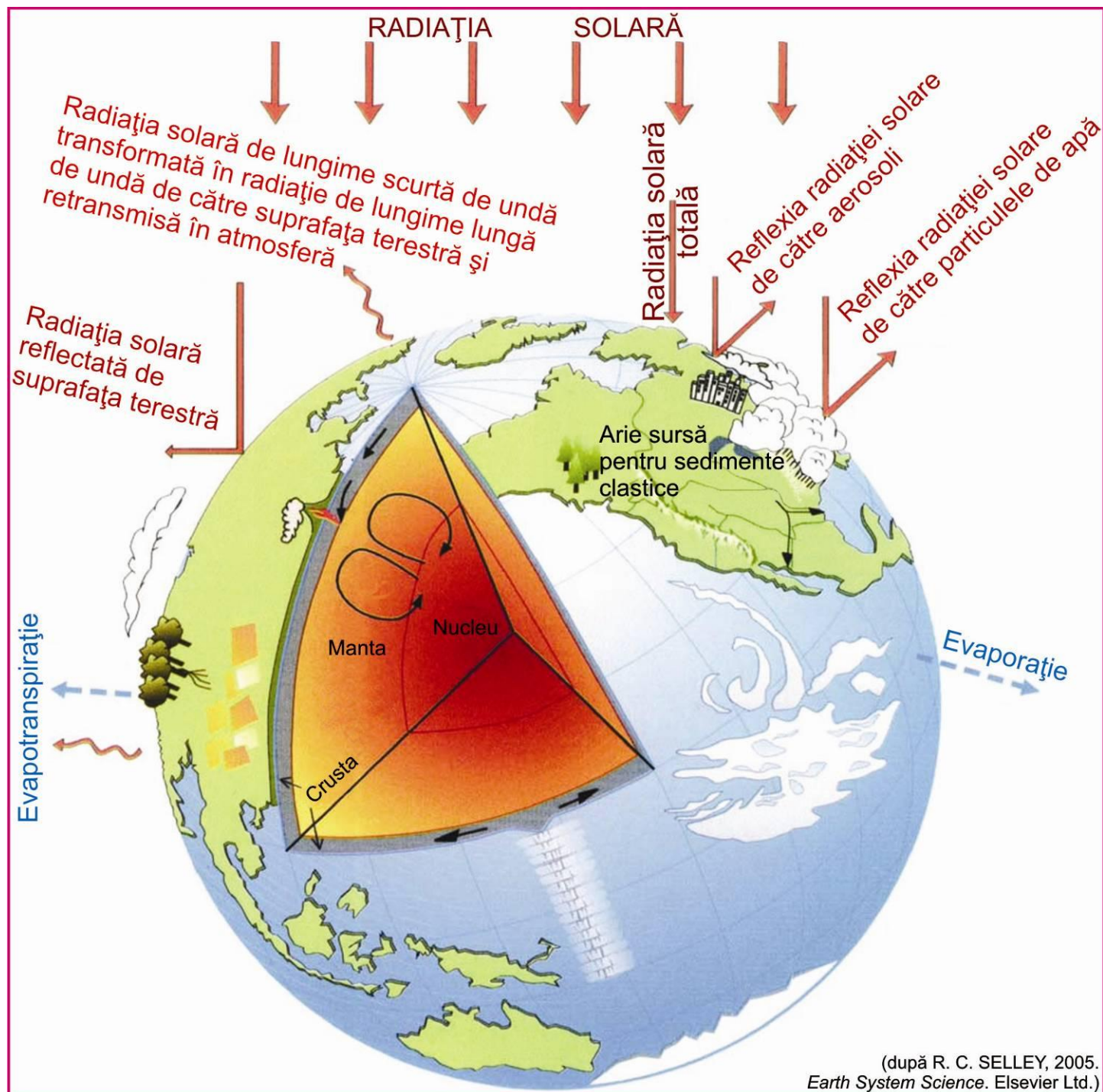
- ponderea energiei termice telurice în bilanțul termic de la suprafața terestră este de numai 0,5% (30 x 10¹² wați, din care vulcani participă doar cu 0,1 x 10¹² wați);

Căldura internă are ca surse:

1 - rezerva inițială;

2 - radioactivitatea;

3 – gravitația, presiunile geotectonice și schimbările de fază.



1- Rezerva inițială = căldura reziduală

- rezultă din faza de evoluție pregeologică a Globului, o parte din această energie fiind consumată prin procesele de conversie și conducție desfășurate în timpul geologic

2 – Radioactivitatea

- este condiționată de concentrarea elementelor radioactive în scoarță;
- acestea se concentrează preponderent în scoarțele continentale, în special în rocile acide din pătura granitică și cu totul subordonat în scoarțele oceanice;
- se estimează că 2/3 din fluxul termic teluric provine din corpurile granitice ale scoarței, care concentrează elementele radioactive;
- se opinează că la baza păturii granitice se produce, pe această cale, creșterea temperaturii până la topirea materialului și formarea camerelor magmatice, fapt confirmat de scăderea vitezei undelor seismice.

- **dezintegrarea radioactivă** a izotopilor cu viață lungă, cu timp de înjumătățire suficient de lung pentru a produce o încălzire considerabilă: U^{238} (Uraniu), Sm^{145} (Samariul), Pu^{244} (Plutoniu - artificial), Cm^{247} (Curiu - artificial) - dacă întreaga căldură generată ar fi fost reținută de Pământ, atunci temperatura Globului ar fi fost cu 2000-3000°C mai mare;

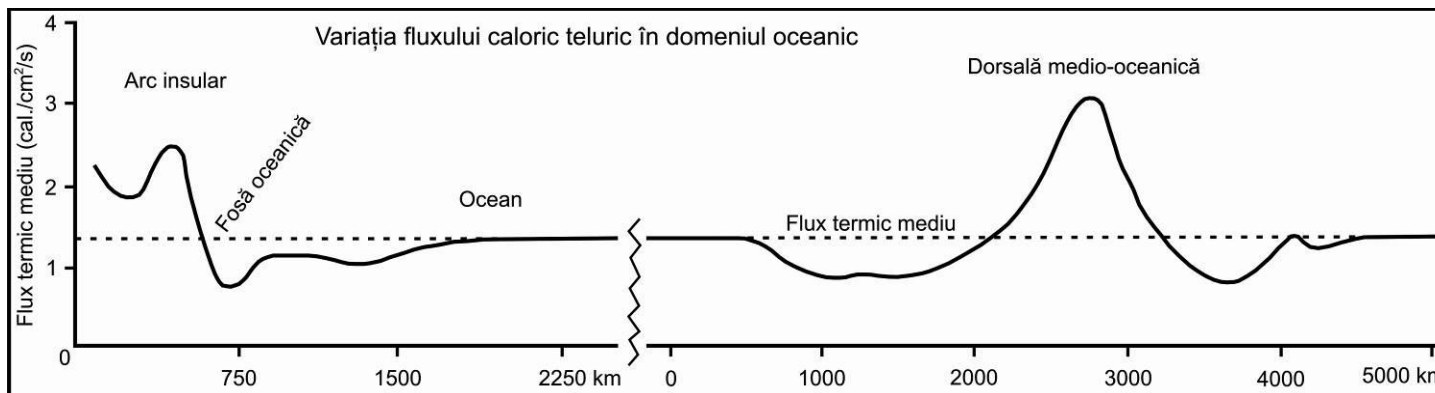
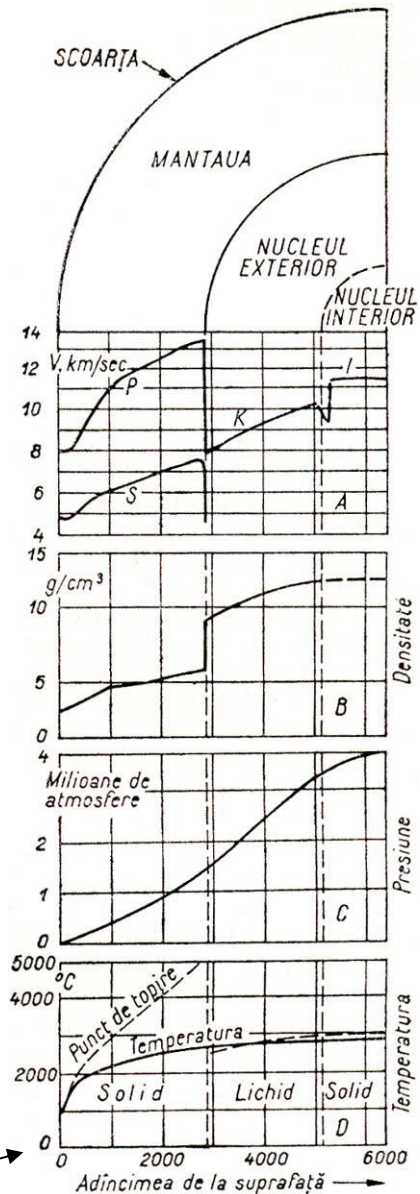
3 – Gravitația și presiunile geotectonice

- **comprimarea adiabatică**, determinată de presiunile de tip hidrostatic și atracția gravitațională - aceste procese ar fi determinat o creștere cu câteva sute de grade în cazul presiunilor de tip hidrostatic și de cca. 1600°C în cazul consumării energiei gravitaționale.

FLUXUL TERMIC TERESTRU (HF)

- din interiorul Pământului spre suprafață, litosfera este străbătută de un curent de conducție termică, denumit **flux termic terestru (HF)**;

- în scoarță, de la suprafață spre adâncime, temperatura crește până la cca. 2000 m cu un **gradient geotermic de 3°C la 100 m** (treapta geotermică este de 33 m, adică pe o adâncime de 33 m, temperatura crește cu 1°C). Apoi creșterea este lentă până la ≈ 4000°C în nucleu.



Din Airinei (1977)