

Poznań
20.01.2023 r.

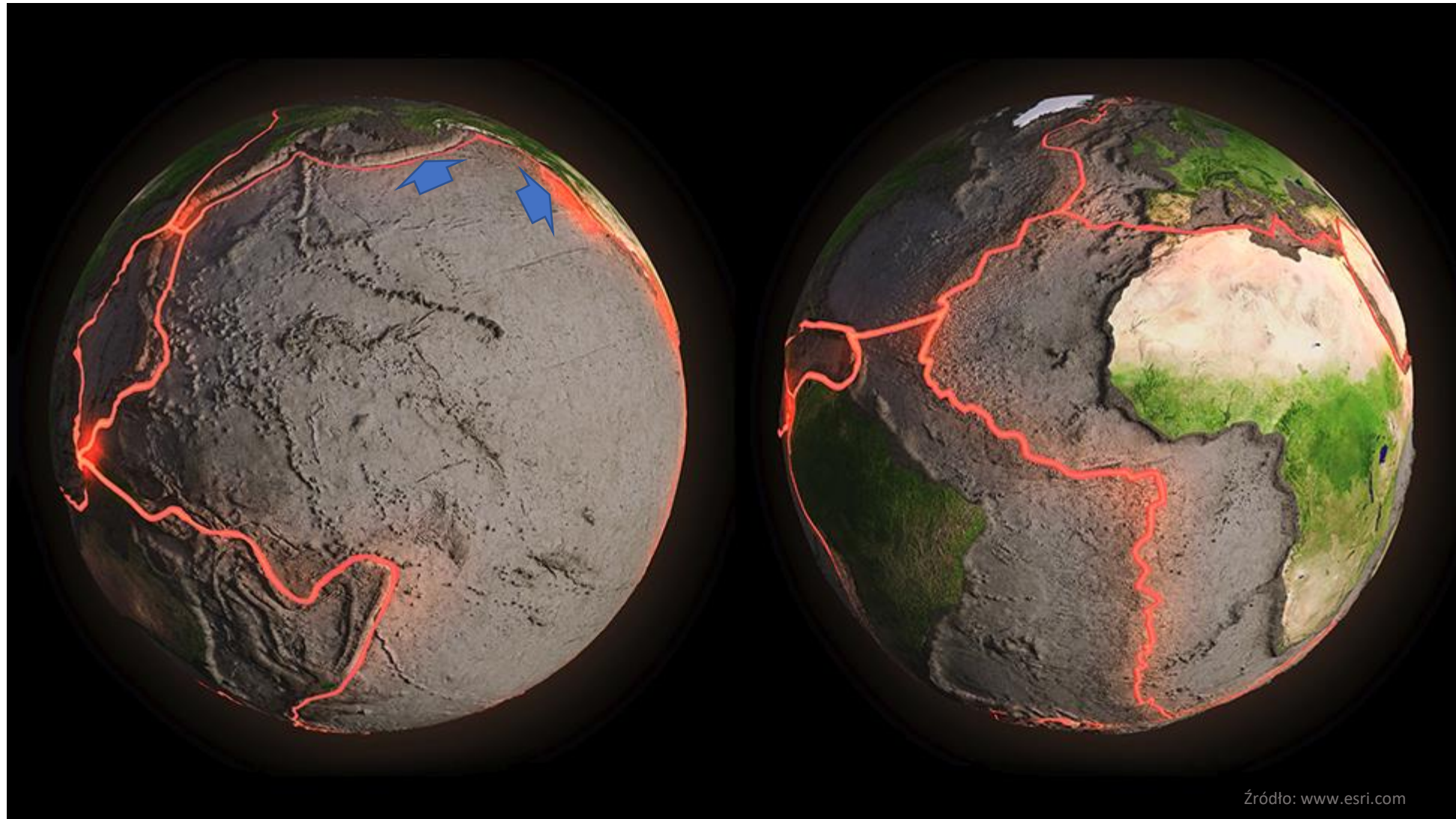
O co chodzi z tymi płytami? Tektonika płyt litosfery a budowa wnętrza Ziemi

dr Wojciech Stawikowski

Zakład Geologii Dynamicznej i Petrografii Stosowanej
Instytut Geologii



Płyty (kry) litosfery i związane z nimi procesy



łączą się z wieloma spektakularnymi przejawami

...między innymi powiązane są z powstawaniem pasm górskich



Zródło: Blakey & Rammey, 2017

Fragment kanadyjskich Gór Skalistych
- fragment orogenu (pasma górotwórczego), związanego ze strefą subdukcji

... oraz łańcuchów wysp wulkanicznych



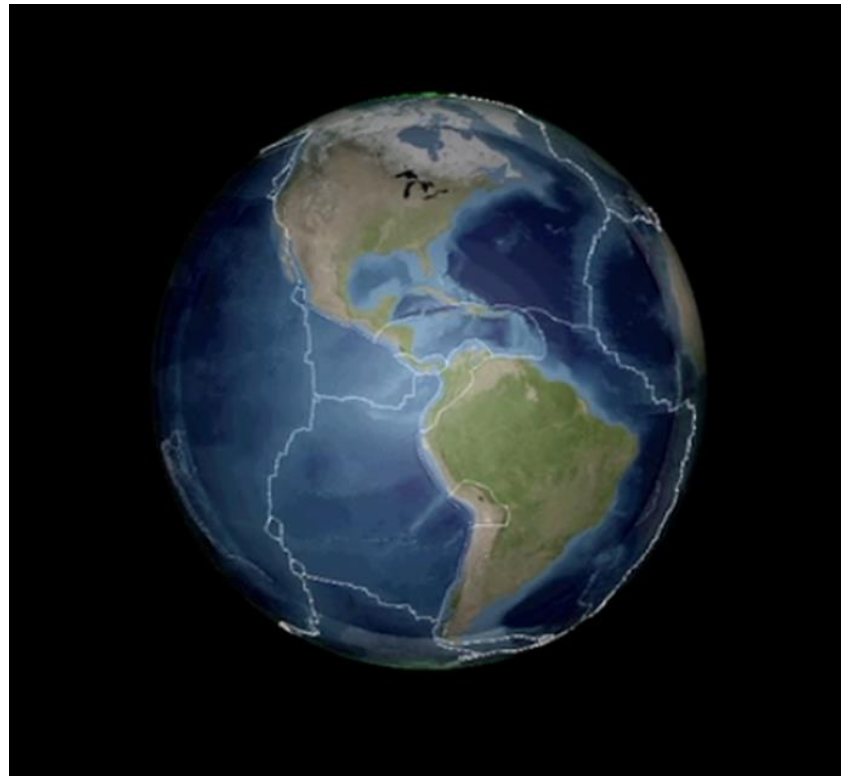
Wyspy Czterech Gór (Mt Tana, Mt Herbert, Mt Cleveland i Mt Carlisle)
- część łuku wulkanicznego Aleutów, związanego z aktywną strefą subdukcji

Kto się zajmuje tą problematyką?

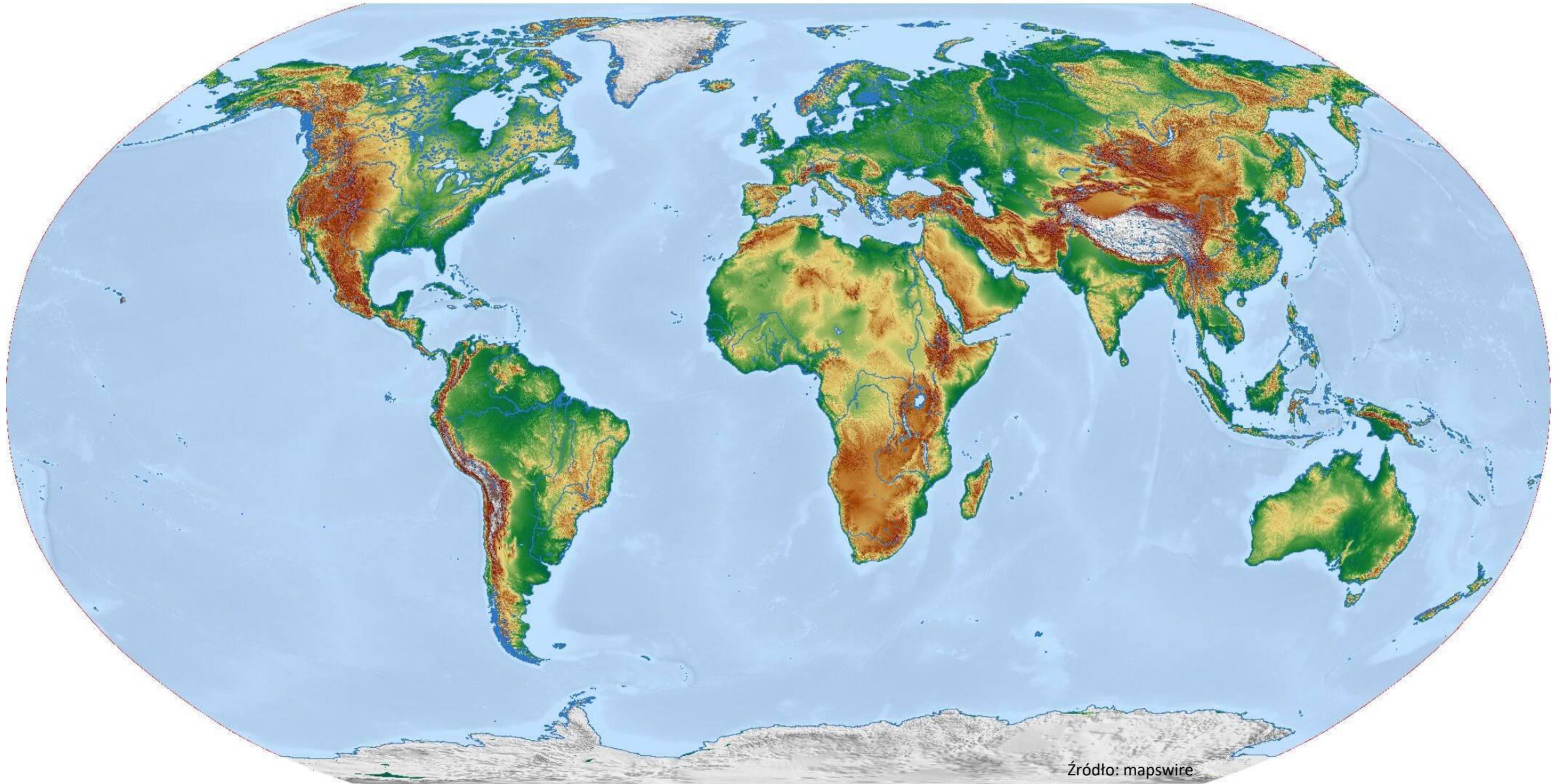
Specjaliści od

geotektoniki (tektoniki globalnej)

- dziedziny geologii zajmującej się wielkoskalowymi strukturami i zjawiskami tektonicznymi w obrębie skorupy ziemskiej (i całej litosfery)
- geotektonika tłumaczy procesy prowadzące do powstawania tych struktur oraz wyjaśnia ich ewolucję



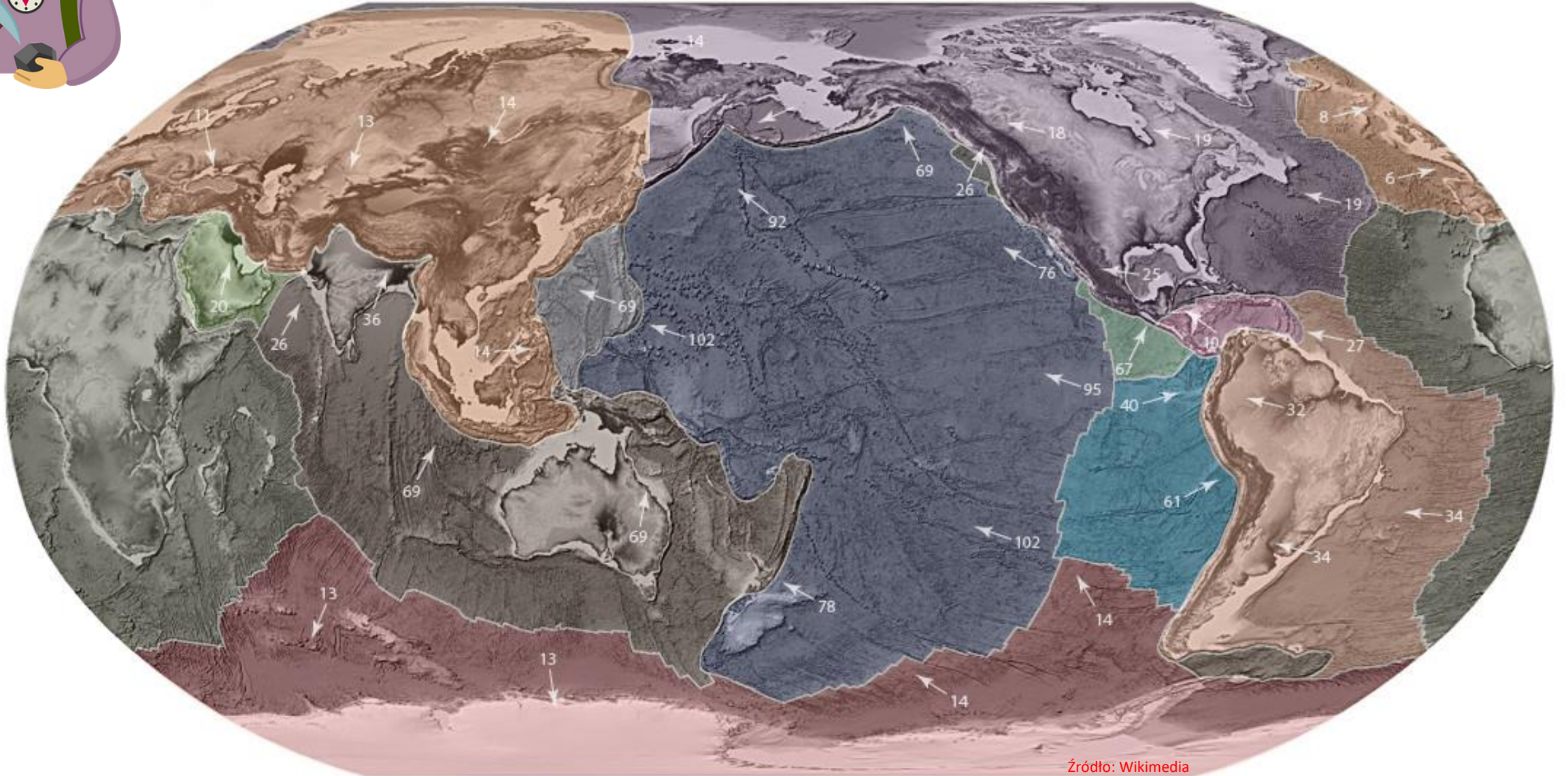
Ziemia widziana oczami laika





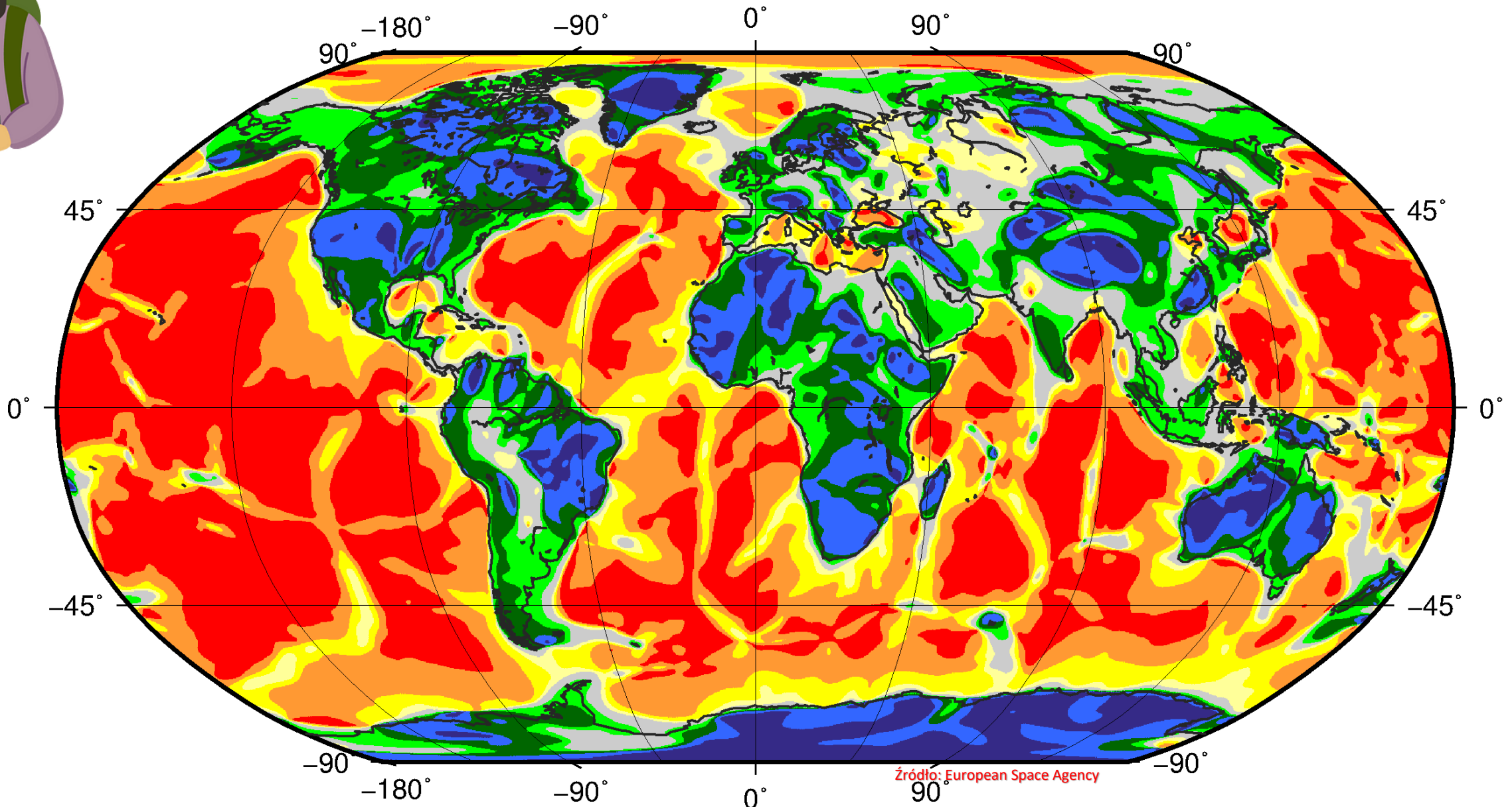
Ziemia widziana oczami **geologa**

- *podział na płyty tektoniczne*





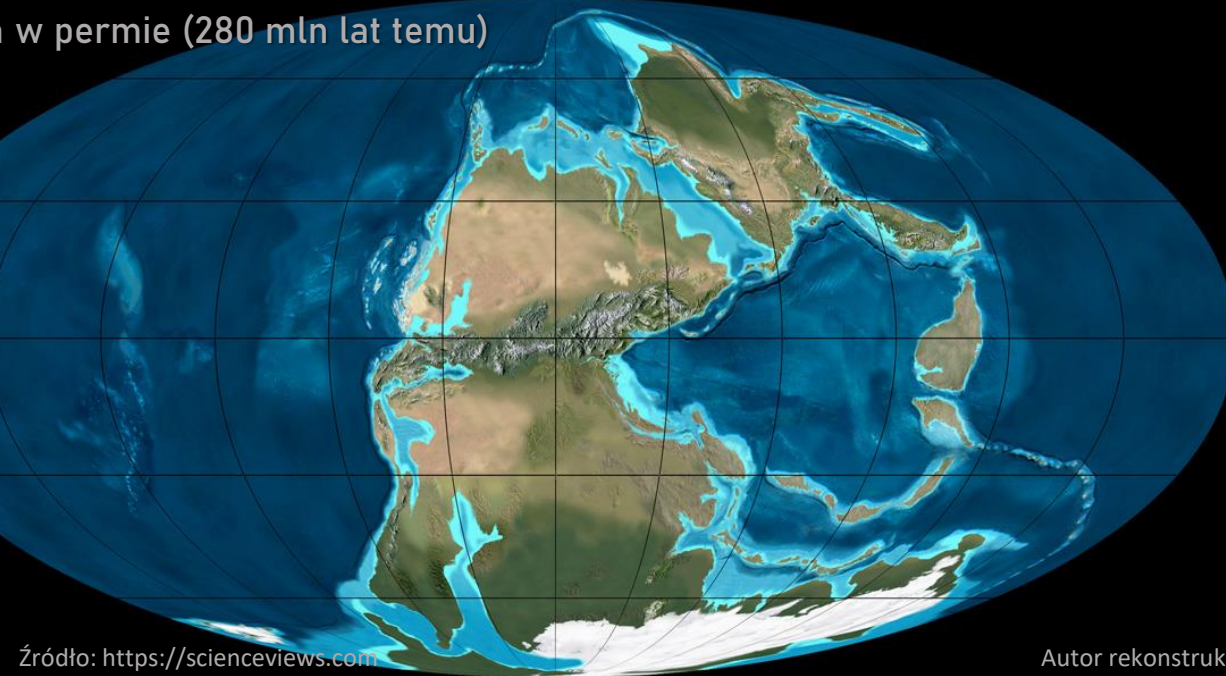
Ziemia widziana oczami geologa



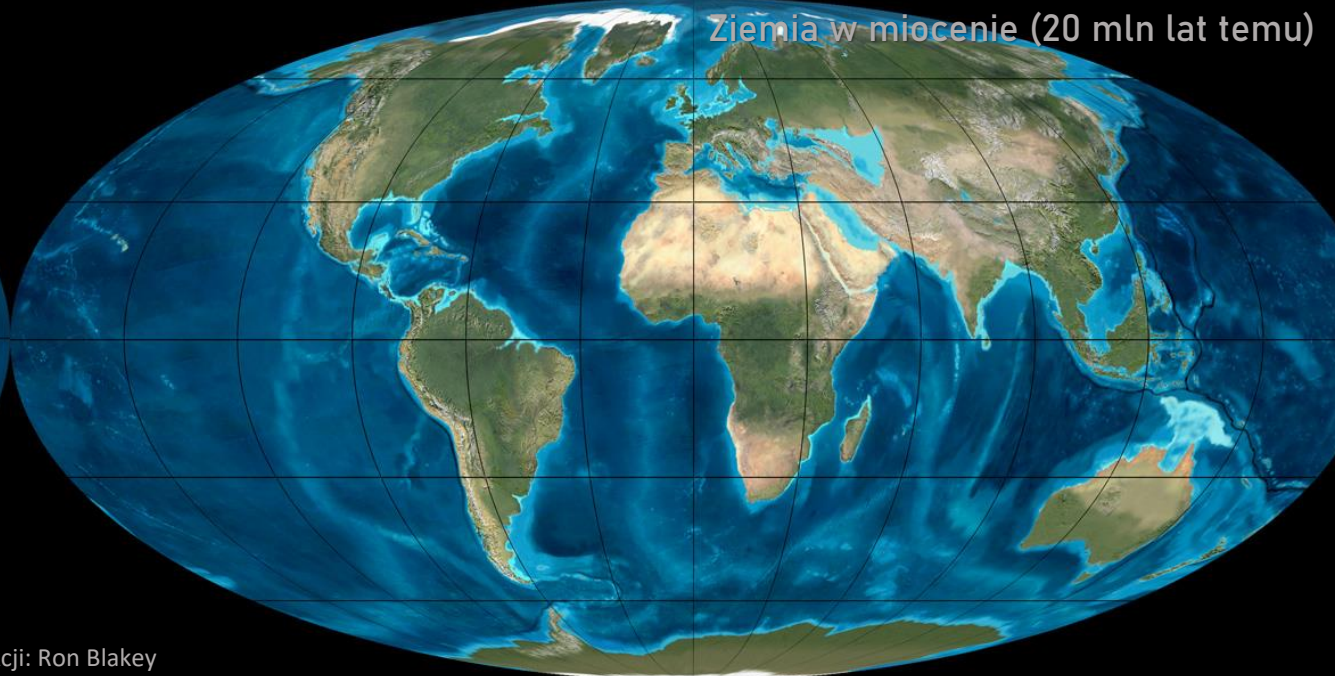
- *zmiennosc cech ziemskiego pola grawitacyjnego ujawniajaca rozklad jednostek tektonicznych*

Geotektonika bada procesy zachodzące zarówno współcześnie i niedawno (neotektoniczne), jak i mające miejsce w *rozumianej geologicznie* dalszej przeszłości (w czasie geologicznym)

w permie (280 mln lat temu)



Ziemia w miocenie (20 mln lat temu)



Czas geologiczny

➤ wiek Ziemi: 4,54 miliarda lat



ERA	OKRES	WIEK (mln lat)
KENO-ZOICZNA	CZWARTORZĘD	1,8 23,0
	NEOGEN	
	PALEOGEN	
MEZO-ZOICZNA	KREDA	65,5 ± 0,3
	JURA	145,5 ± 4,0
	TRIAS	199,6 ± 0,6
PALEOZOICZNA	PERM	251,0 ± 0,4
	KARBON	299,0 ± 0,8
	DEWON	359,2 ± 2,5
	SYLUR	416,0 ± 2,8
	ORDOWIK	443,7 ± 1,5
	KAMBR	488,3 ± 1,7
		542,0 ± 1,0
PREKAMBR		4,54 mld lat

Zródło: geoportal.pgi.gov.pl

Najstarsze wydатовane skały na Ziemi

- gnejsy Acasta (NW Kanada): 4 miliardy lat



<https://eos.org>



<https://en.wikipedia.org>

Najstarsze ziarno mineralne na Ziemi

- kryształ cyrkonu z Jack Hills (zach. Australia): 4,374 miliardy lat



Źródło: <https://earthobservatory.nasa.gov>



0,2 mm

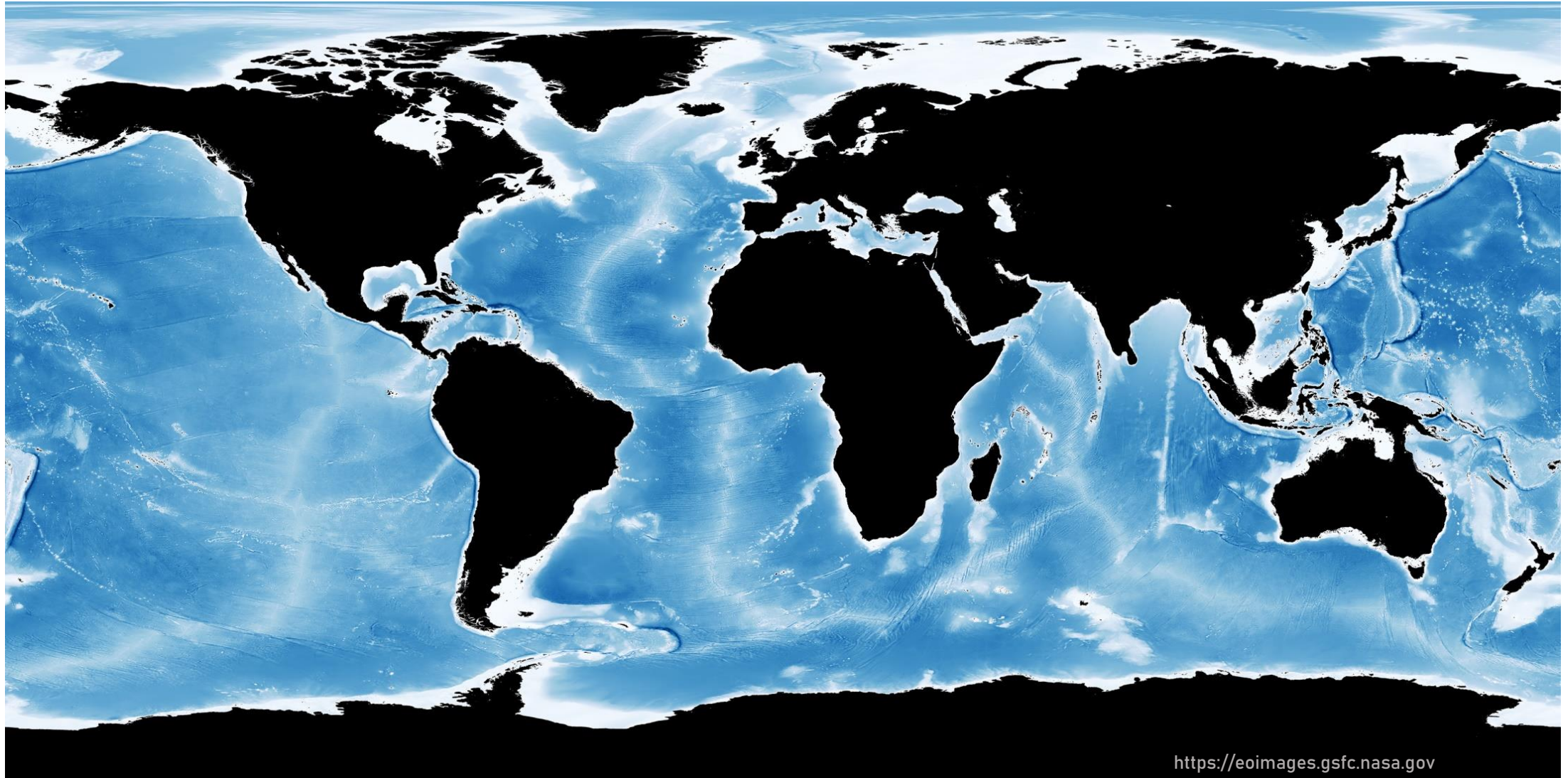
Źródło: www.australiangeographic.com.au

Rzeźba lądów na Ziemi



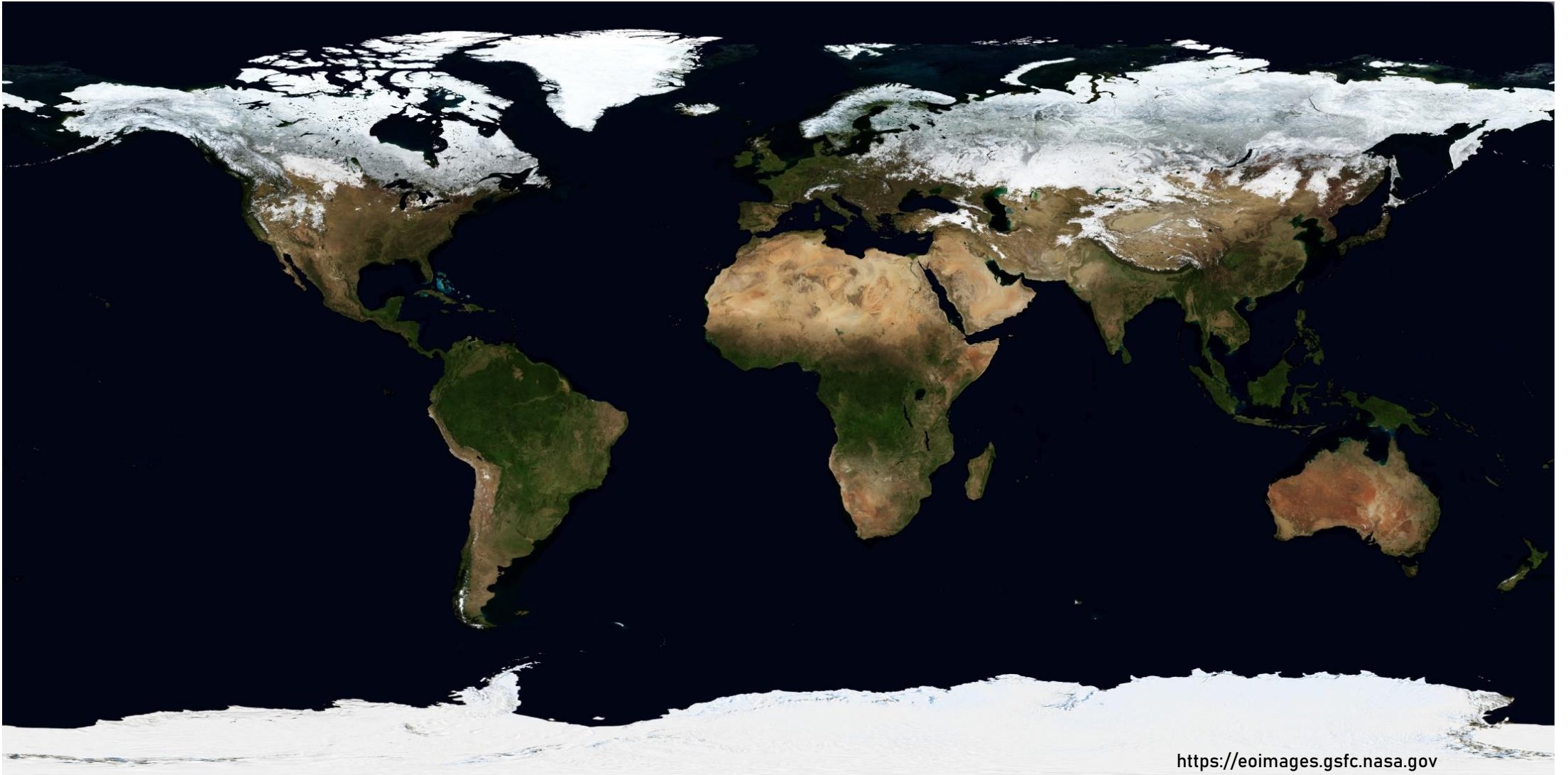
- **jest silnie uwarunkowana procesami geotektonicznymi**

Rzeźba den mórz i oceanów na Ziemi



- również uwarunkowana jest procesami geotektonicznymi

Klimat na Ziemi



- **w dużej mierze, zwłaszcza w skali długoczasowej, zależy od procesów geotektonicznych**

Procesy geotektoniczne odpowiadają za



Wulkanizm

Trzęsienia ziemi

Ruchy górotwórcze

Erupcja wulkanu Mount Redoubt, Alaska



Lawa sącząca się szczeliną w obrębie wulkanu Maua Loa, Hawaje, 07 grudnia 2022



Katastrofalne efekty trzęsienia ziemi Gorkha, Katmandu 2015

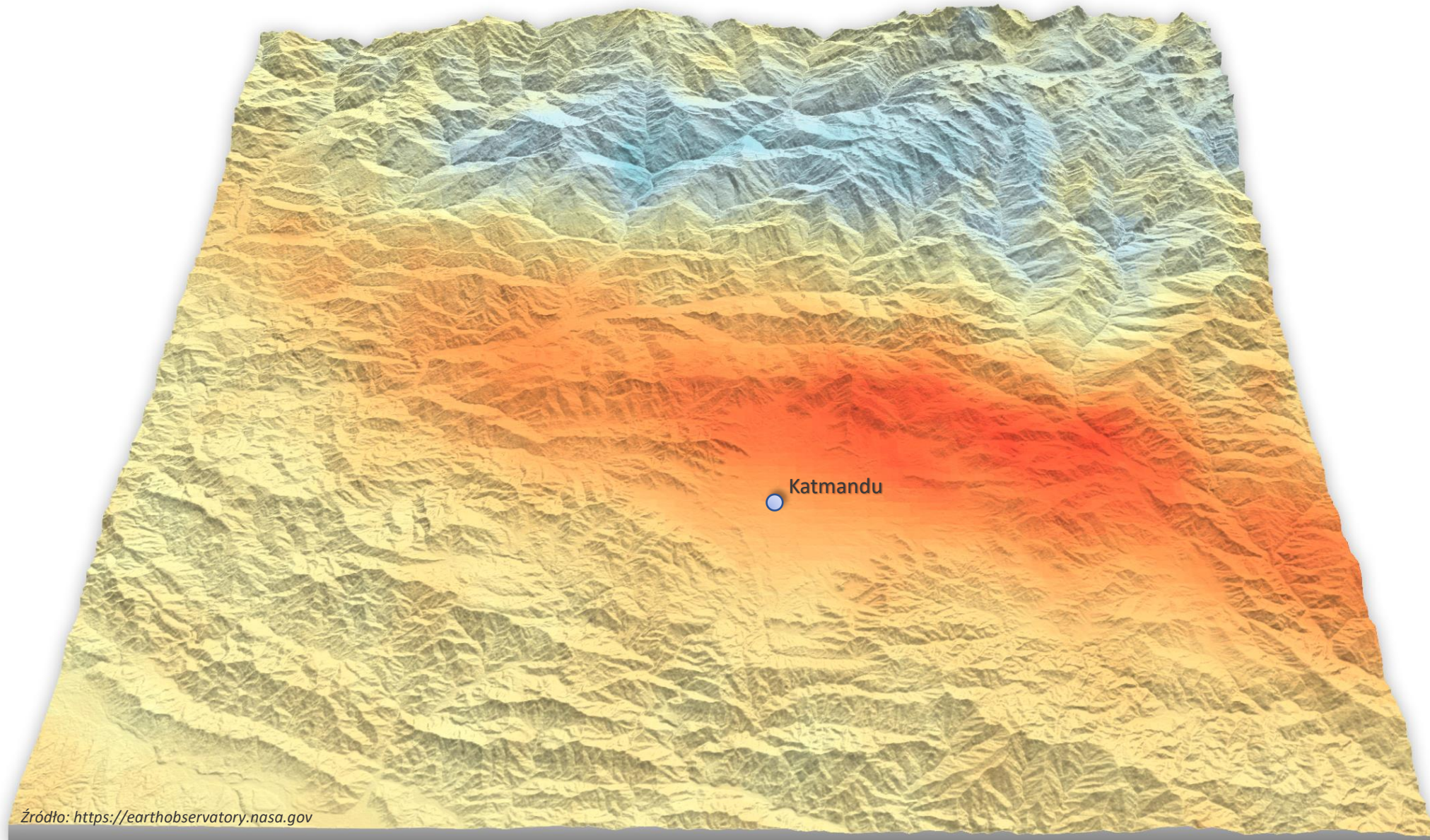




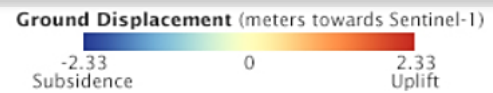
Źródło: <https://earthobservatory.nasa.gov/>

Widok na Himalaje i Wyżynę Tybetańską z Międzynarodowej Stacji Kosmicznej

Skala pionowych przemieszczeń na obszarze Himalajów wskutek trzęsienia ziemi Gorkha, VII 2015

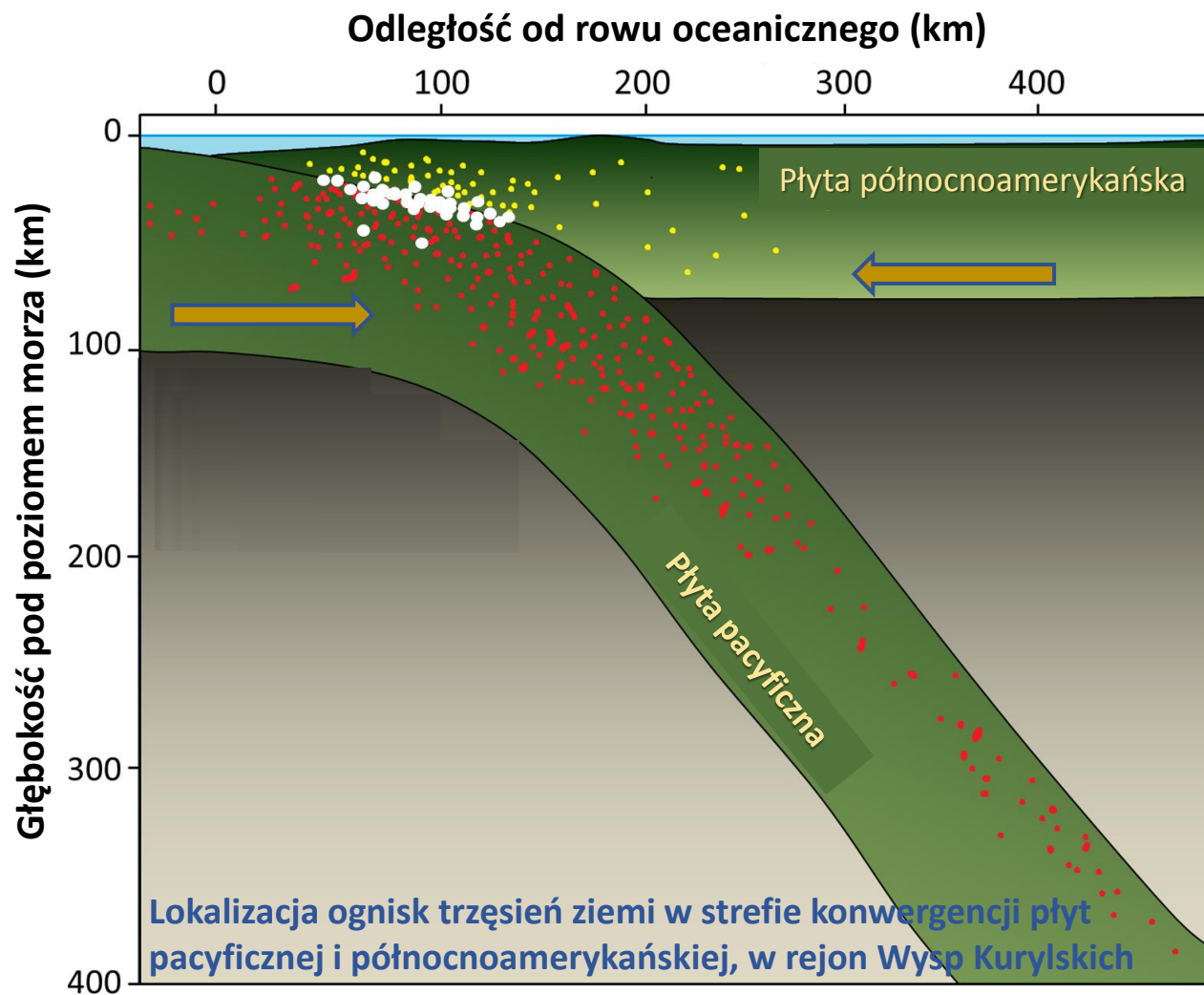


Źródło: <https://earthobservatory.nasa.gov>

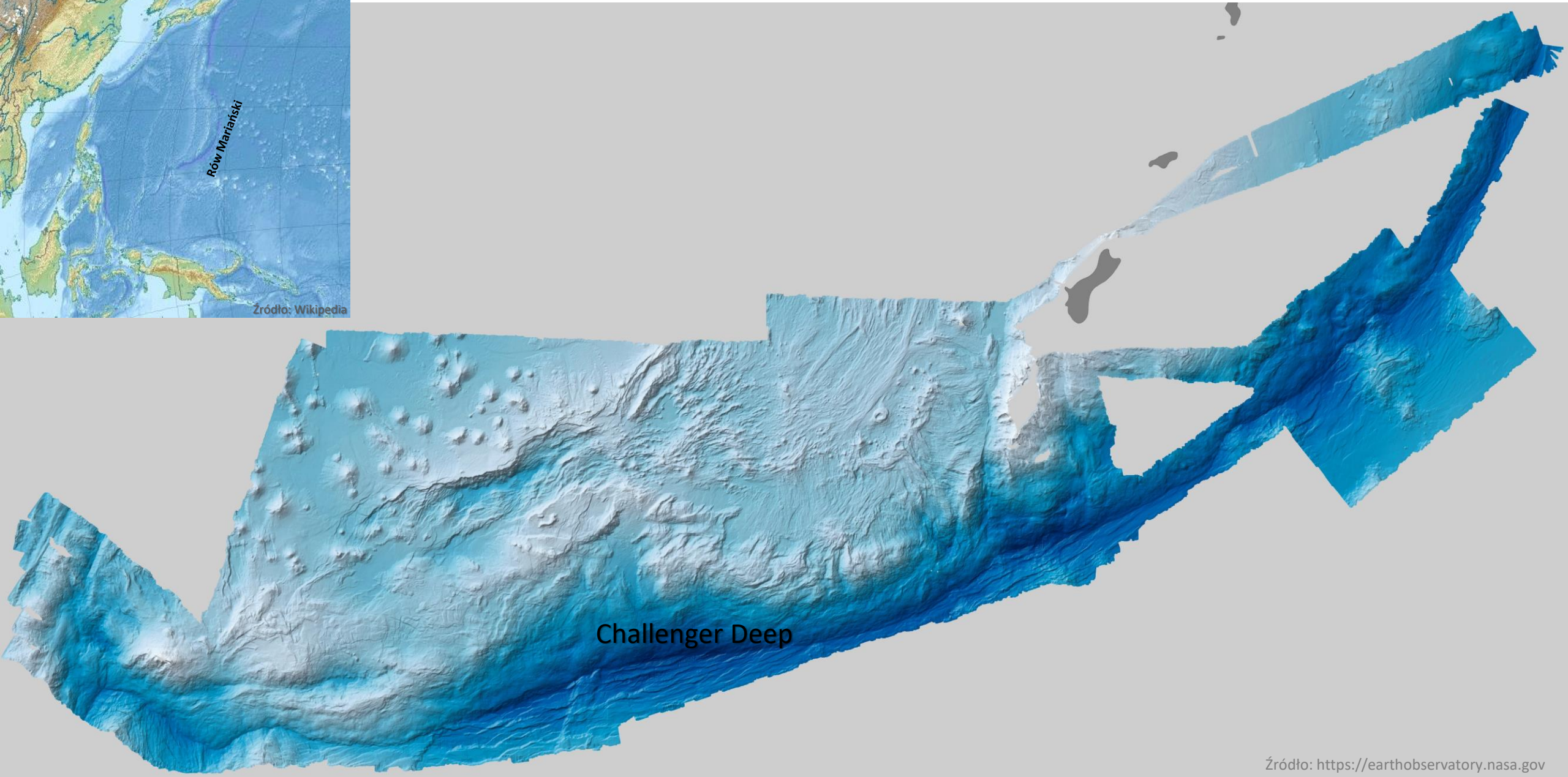


Trzęsienia ziemi

stanowią podstawowy objaw współczesnych globalnych procesów tektonicznych



Mapa Rowu Mariańskiego z 2010 roku z głębokością Challenger Deep (10 994 m p.p.m.)



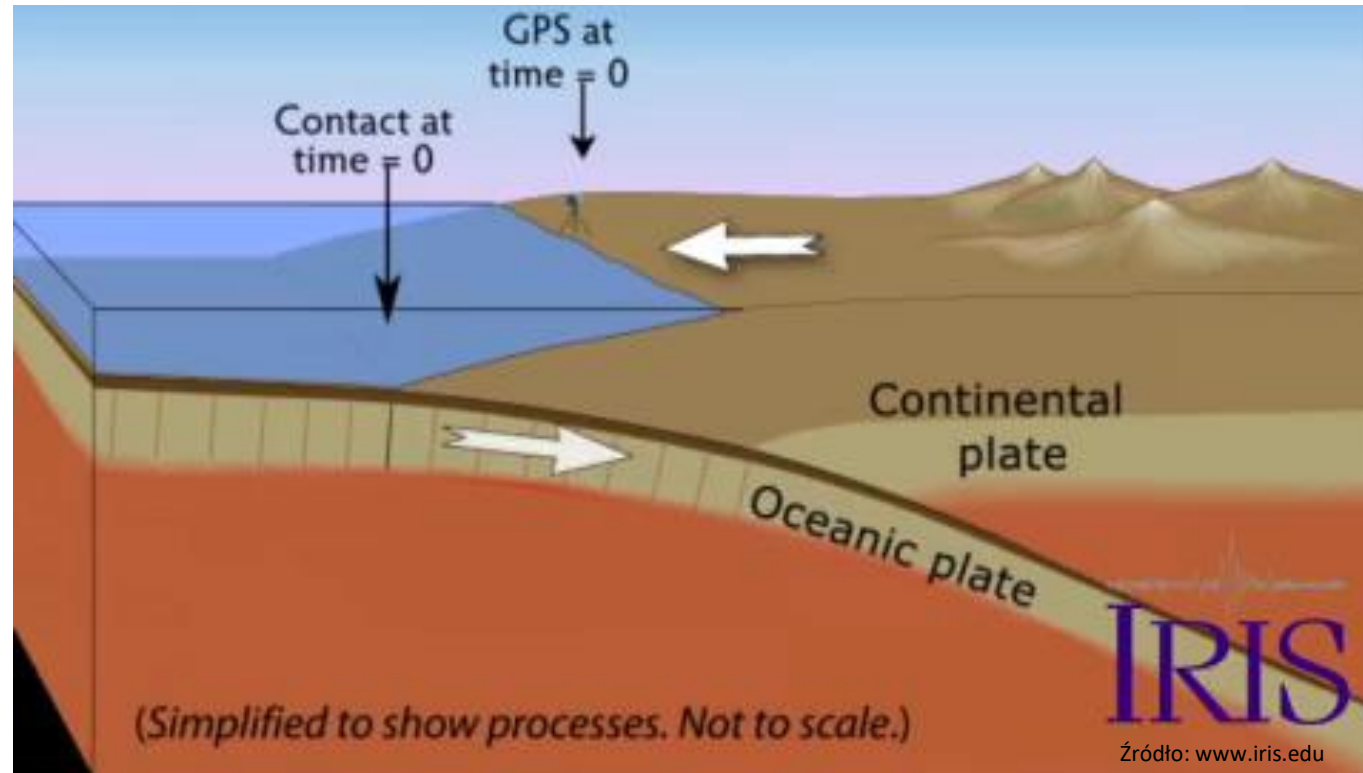
Źródło: <https://earthobservatory.nasa.gov>

- Rowy oceaniczne, w tym Rów Mariański, są klasycznymi elementami stref subdukcji płyt litosferycznych

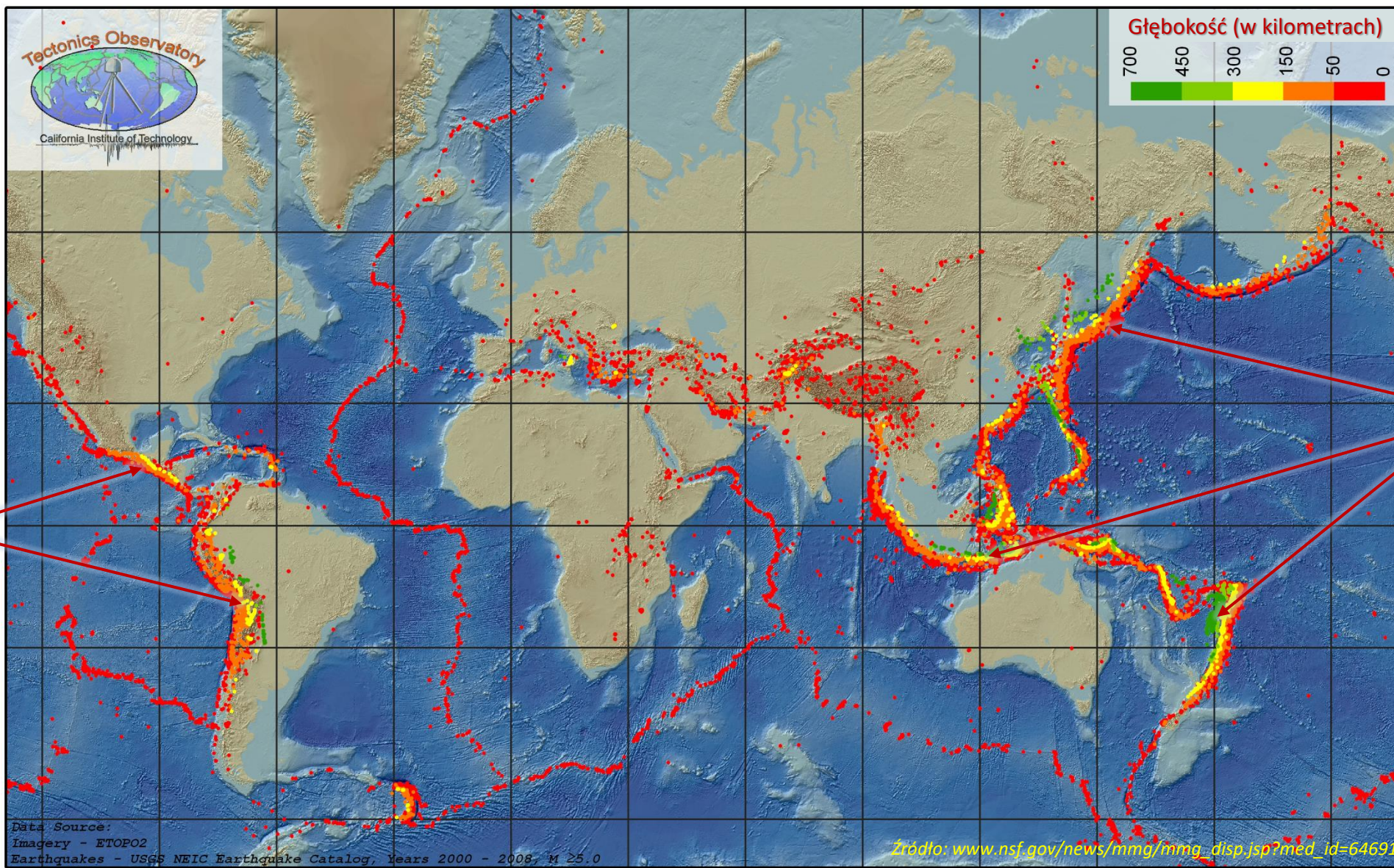
Trzęsienia ziemi

jako podstawowy objaw współczesnych globalnych procesów tektonicznych

Wielu trzęsieniom ziemi towarzyszy generowanie fal tsunami



Globalna mapa trzęsień ziemi z uwzględnieniem głębokości ich ognisk (hipocentrow)



Katalog trzęsień ziemi zarejestrowanych od 2000 do 2008 roku; na mapie uwzględniono wstrząsy o magnitudach ≥ 5.0

Trzęsienia ziemi jako podstawowy objaw procesów geotektonicznych



Szkic J.C. Wickhama ukazujący skutki trzęsienia Ziemi w Concepcion w 1835 roku, w tym zburzoną katedrę. Świadkiem tego zjawiska był Karol Darwin.

Trzęsienie ziemi Concepcion, Chile, 1835 r., szacowana magnituda $M = 8,1-8,5$

Trzęsienia ziemi jako podstawowy objaw procesów geotektonicznych

- Powtarzają się w tych samych lokalizacjach



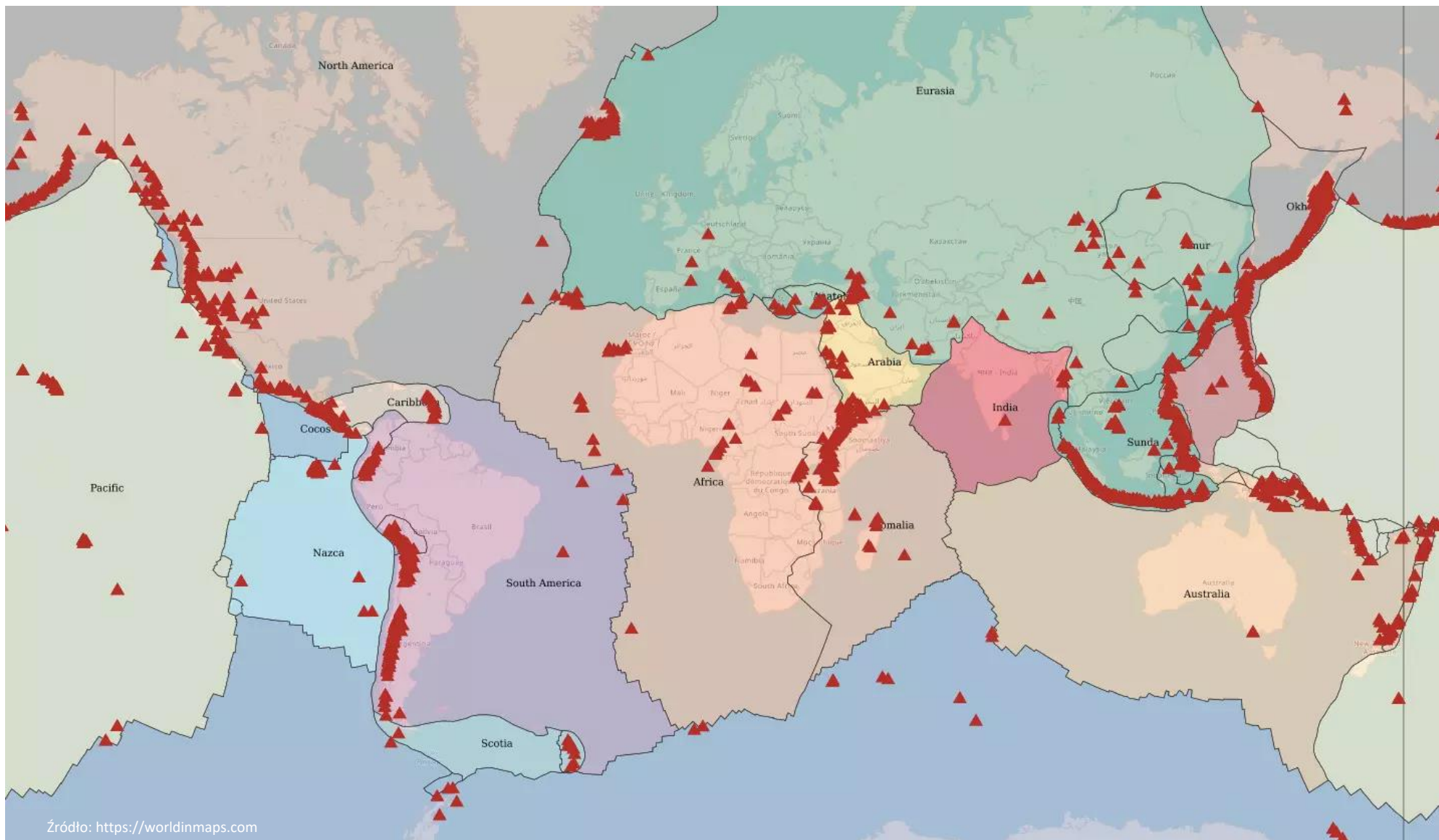
Trzęsienie ziemi Concepcion, Chile, 2010 r., magnituda $M = 8,8$

Globalna mapa aktywnych wulkanów

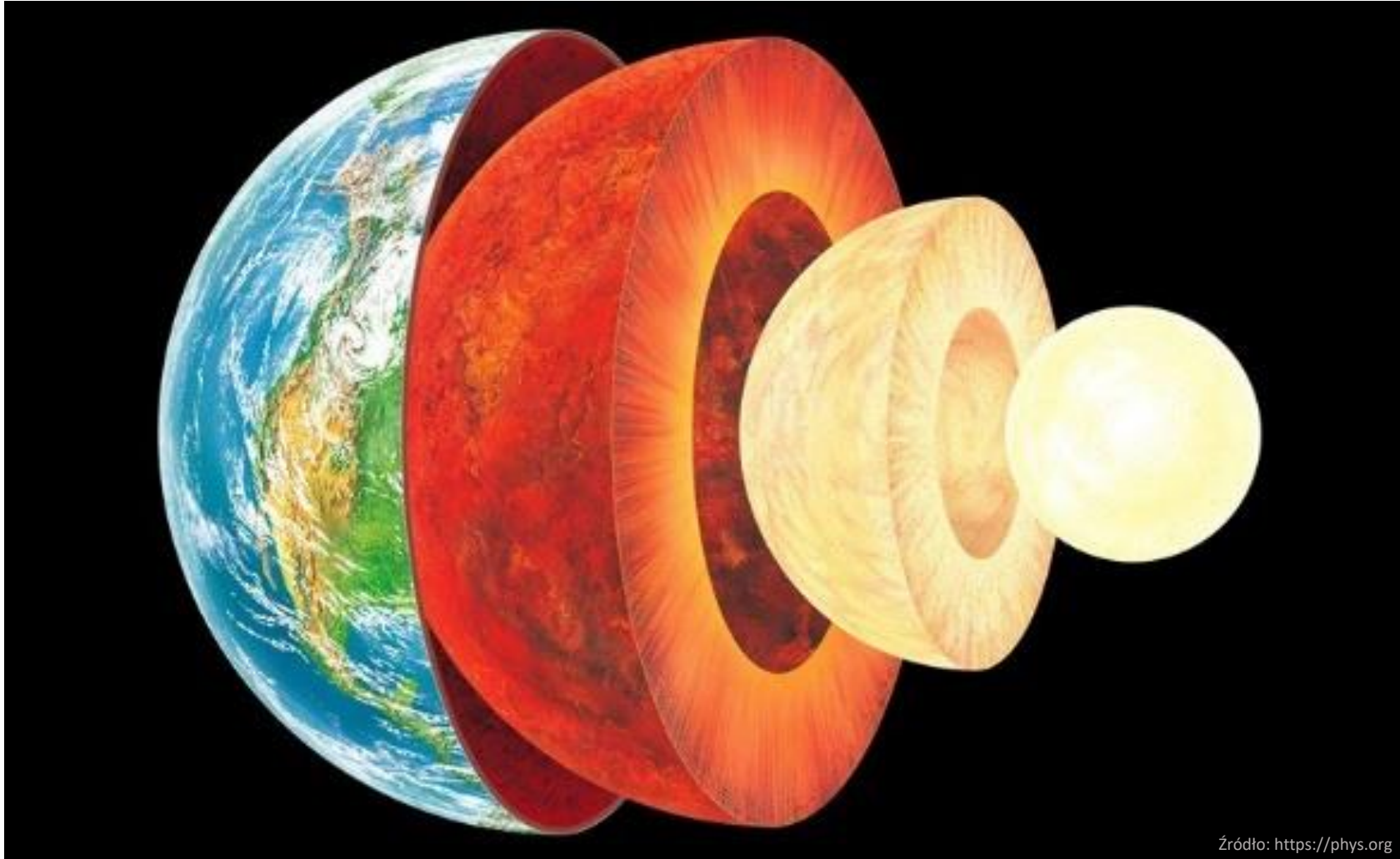
- większość z nich wiąże się z granicami płyt litosfery
- wulkany wokół Oceanu Spokojnego tworzą Pierścień Ognia (*Ring of Fire*)



Globalna mapa aktywnych wulkanów na tle rozmieszczenia płyt litosfery

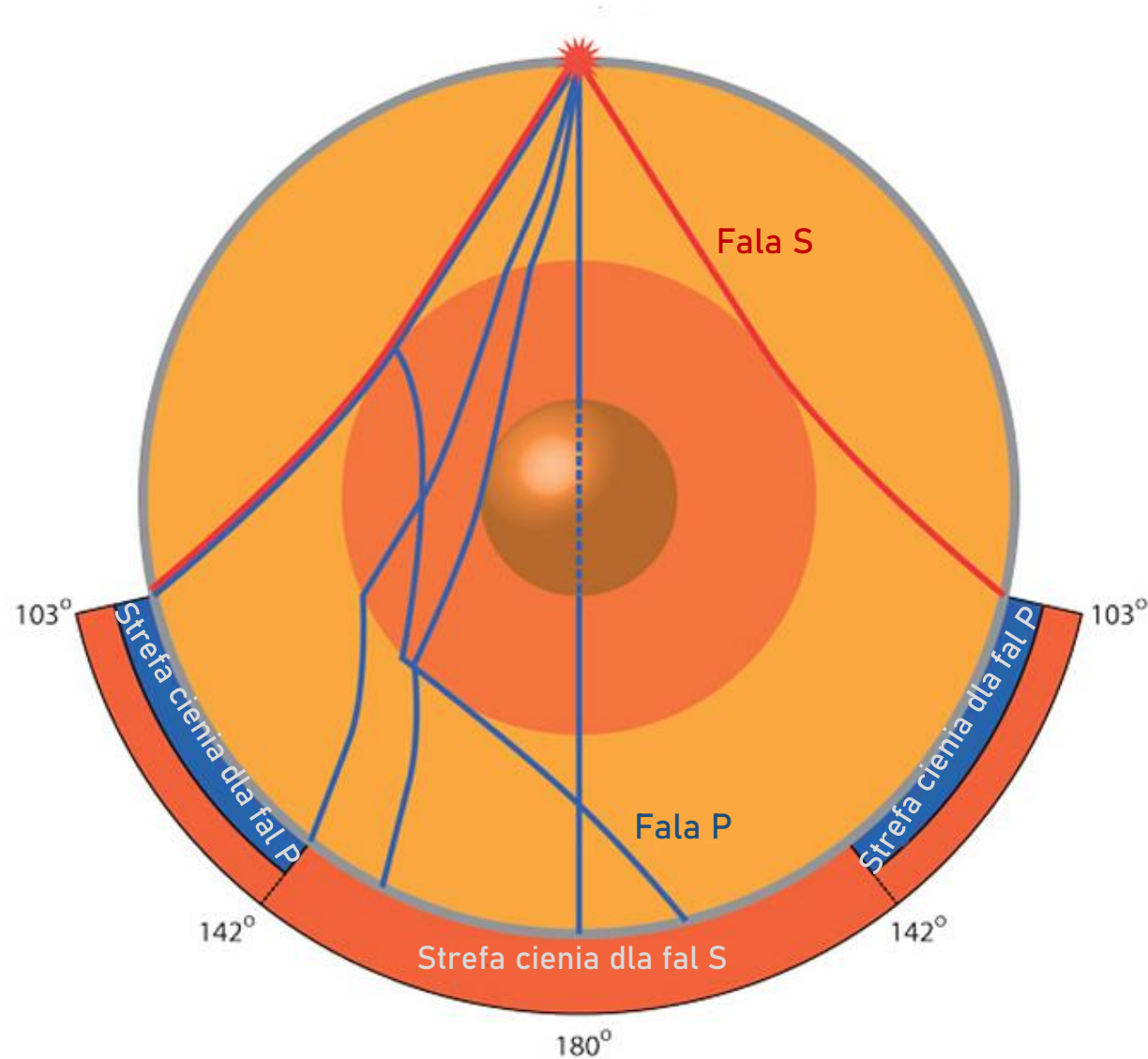


Budowa wnętrza Ziemi



Budowa wnętrza Ziemi

- poznana na podstawie pomiarów rozchodzenia się fal sejsmicznych:



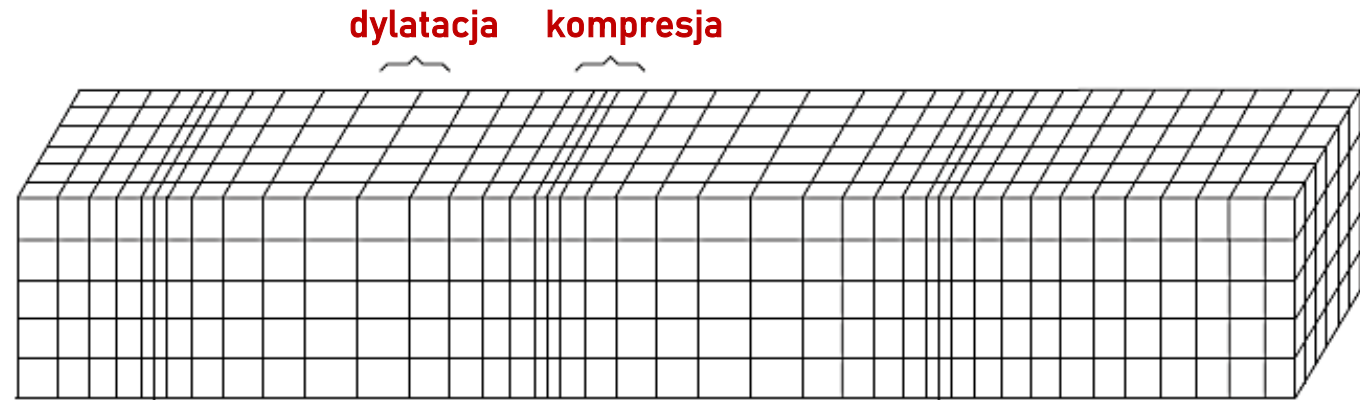
fal podłużnych (P)

fal poprzecznych (S)

Budowa wnętrza Ziemi

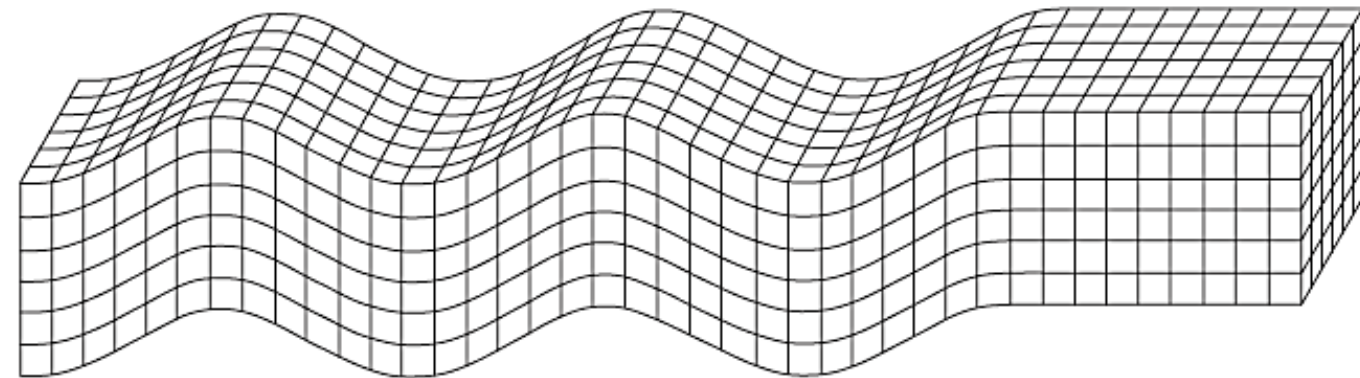
Fale sejsmiczne stanowią źródło wiedzy o budowie wnętrza planety Ziemi

FALA PODŁUŻNA (P)



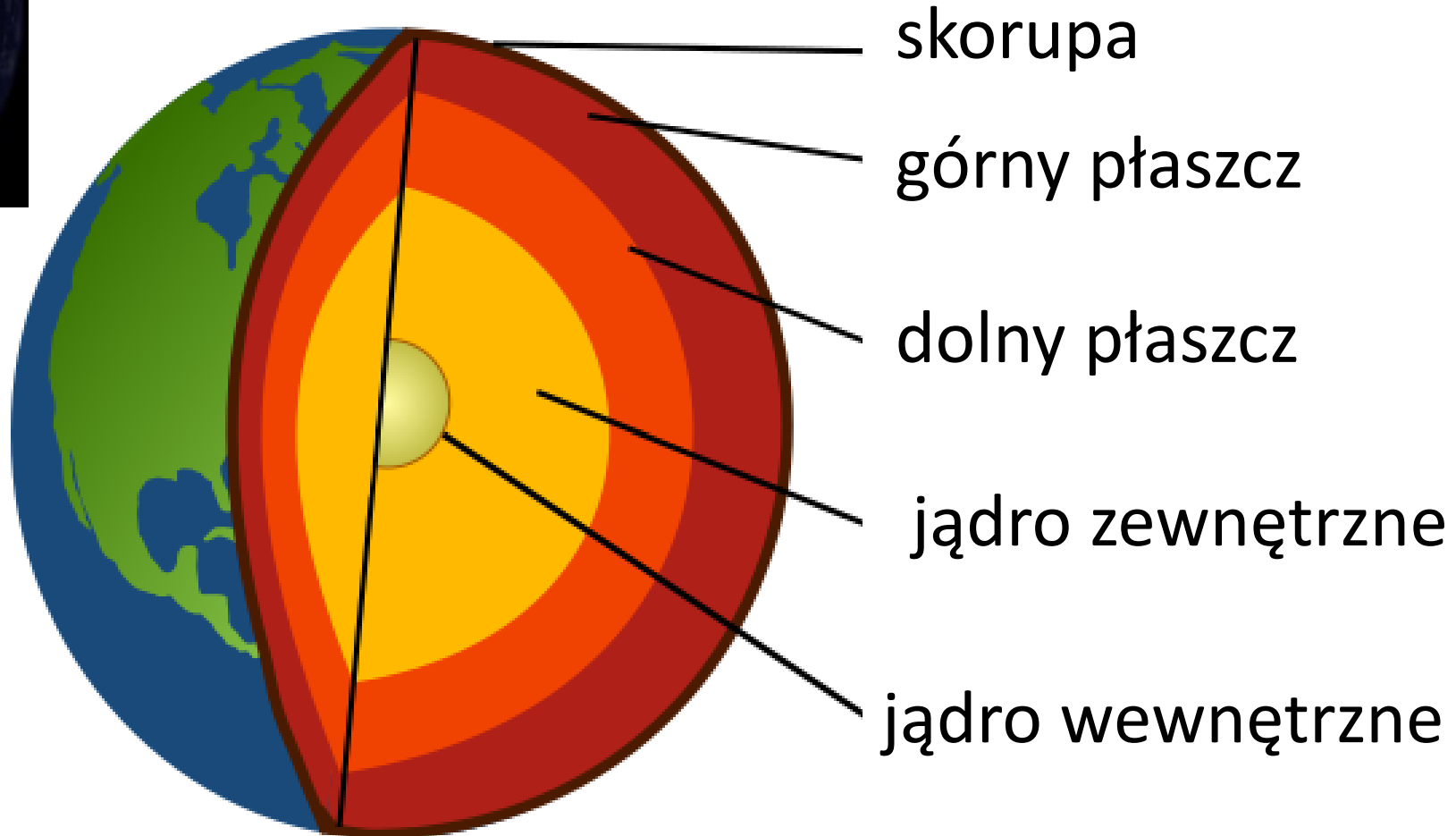
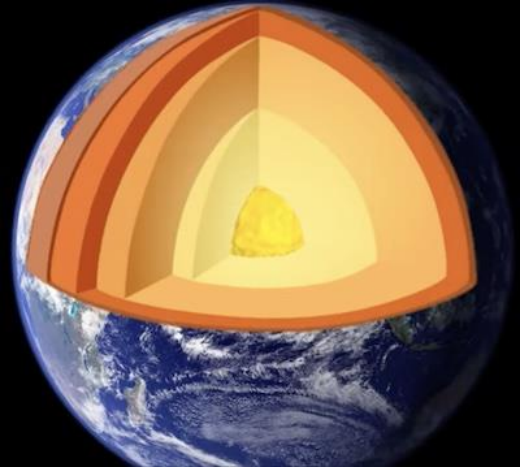
Kierunek propagacji fali

FALA POPRZECZNA (S)



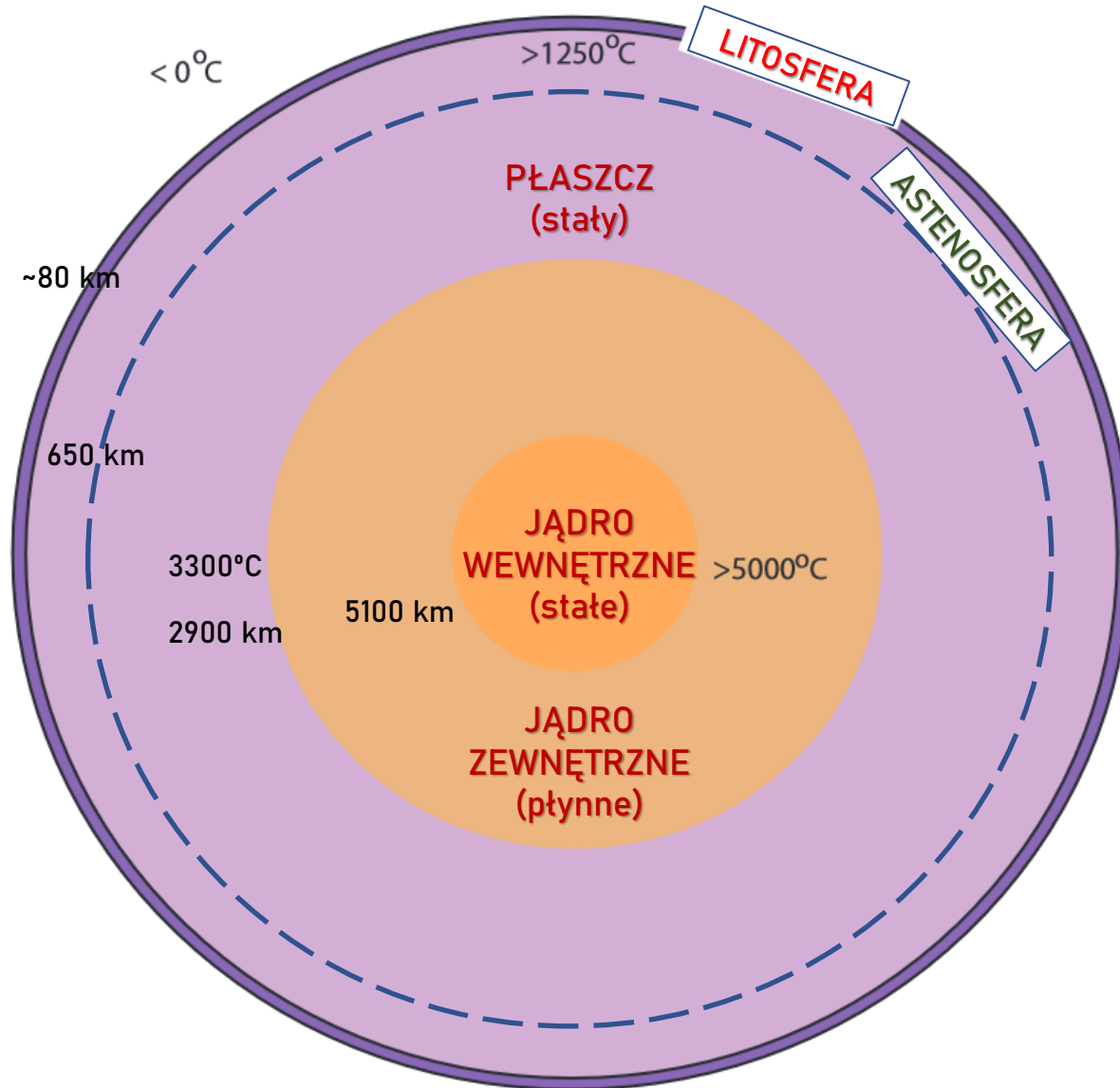
Schemat rozchodzenia się fal

Budowa wnętrza Ziemi



- Jądro Ziemi – głównie żelazo, ze znaczną domieszką niklu
- Płaszcz i skorupa – głównie krzemiany

Budowa wnętrza Ziemi



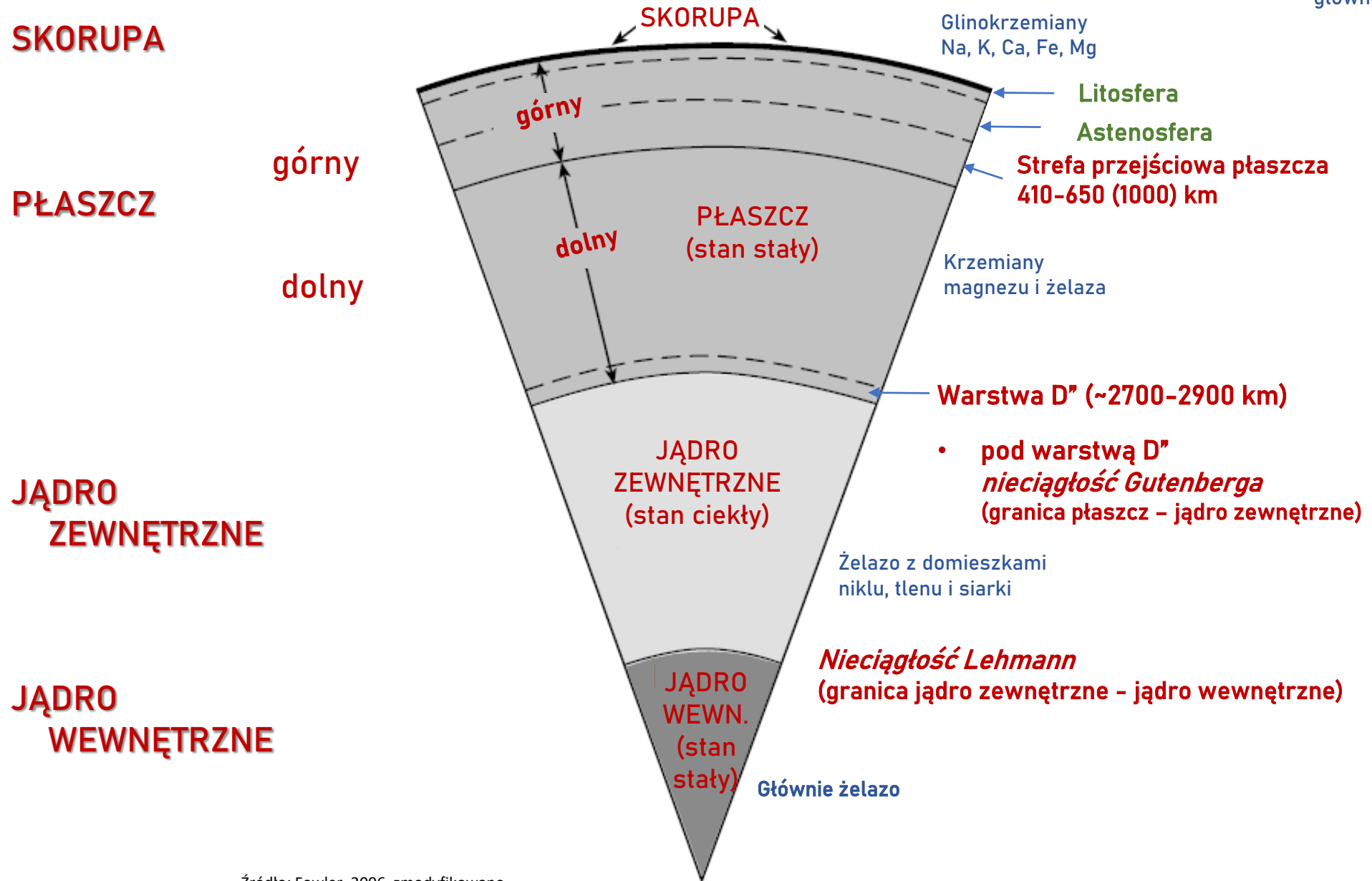
LITOSFERA – jest sztywna, obejmuje skorupę i najwyższą część górnego płaszczka

ASTENOSFERA – jest plastyczna, obejmuje środkową i dolną część górnego płaszczka

warstwy (powłoki Ziemi) wyróżniane ze względu na własności mechaniczne budujących je skał

Budowa wnętrza Ziemi

Kolor niebieski –
główne składniki



Struktura wewnętrzna Ziemi

Minerały ziemskiego płaszcz

Górny płaszcz:

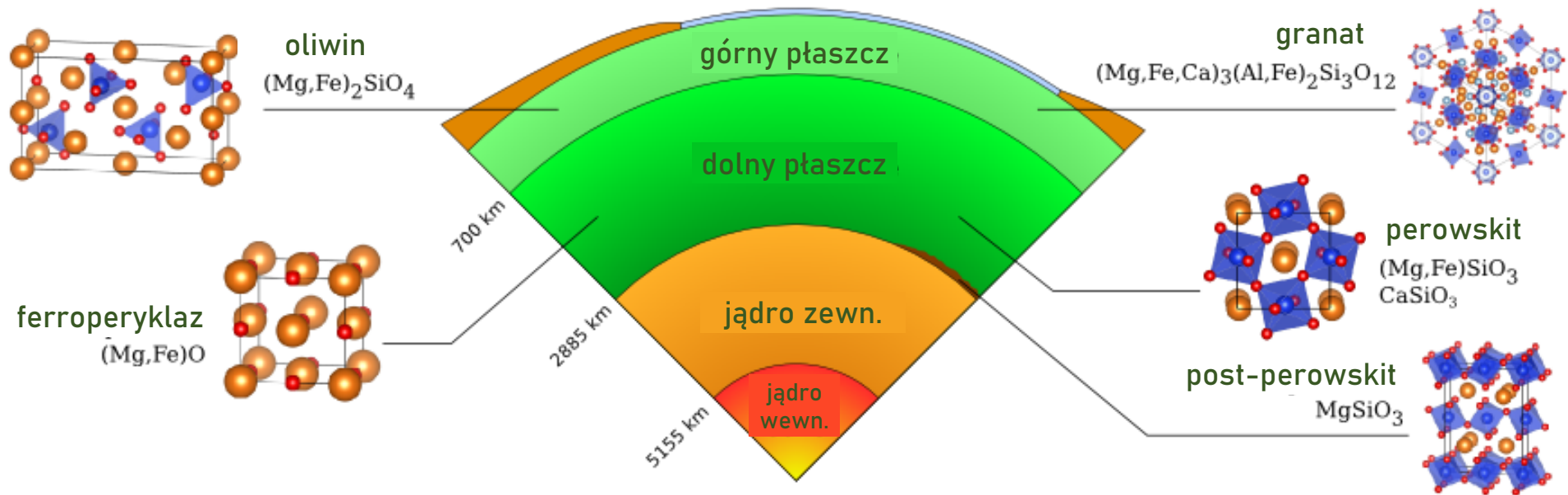
- oliwiny, pirokseny, granaty, obecny także stiszowit (SiO_2)

Dolny płaszcz:

- perowskit, ferroperyklaz

Najgłębszy dolny płaszcz (strefa D'')

- post-perowskit



Dawne i współczesne teorie geotektoniczne

**Fiksistyczne
(Stabilistyczne)**

Teoria kontrakcji
i powiązana z nią
teoria geosynklin

Mobilistyczne

Teoria tektoniki płyt

z poprzedzającą ją
teorią dryfu kontynentów

Teoria ekspansji

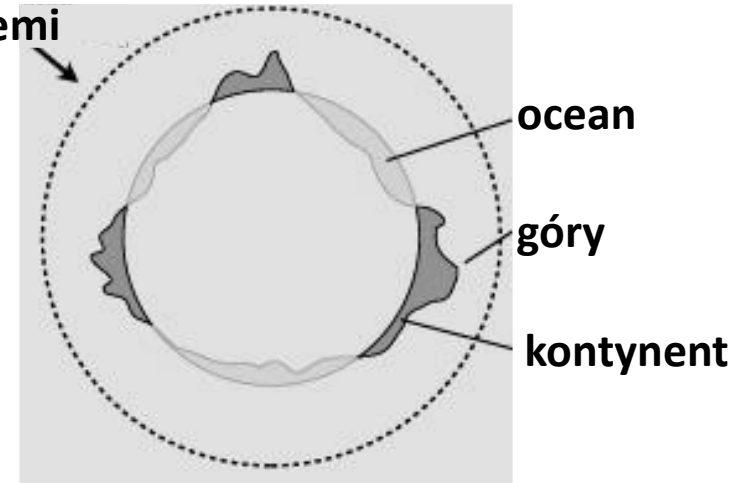
Teorie geotektoniczne

- Teoria kontrakcyjna, teoria kurczącej się Ziemi

(XIX wiek, I połowa XX wieku)



pierwotna
średnica
Ziemi



Źródło: <http://spartan.ac.brocku.ca>

Teorie geotektoniczne

- Teoria dryfu kontynentów

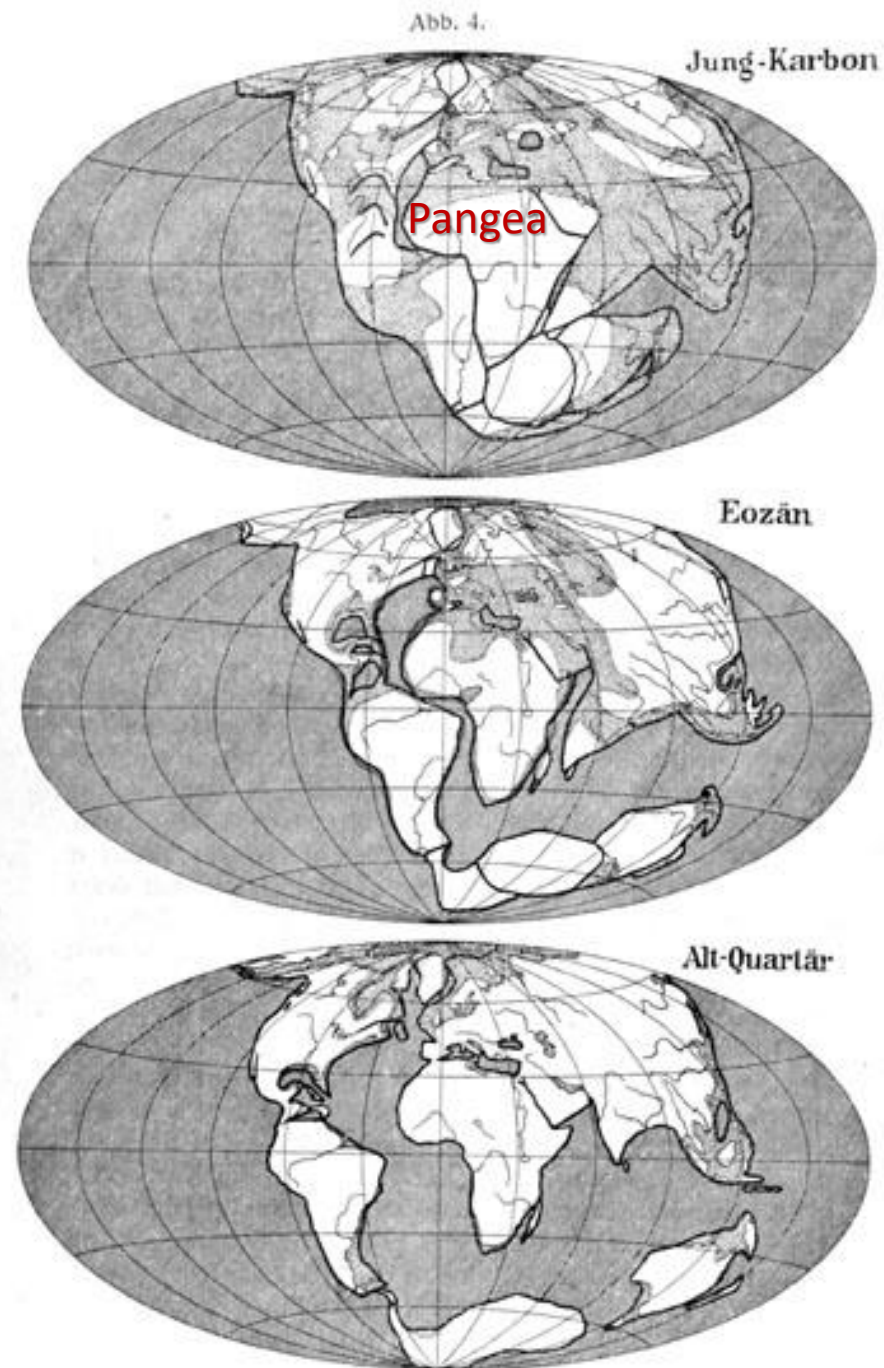


Alfred Wegener (1880-1930)

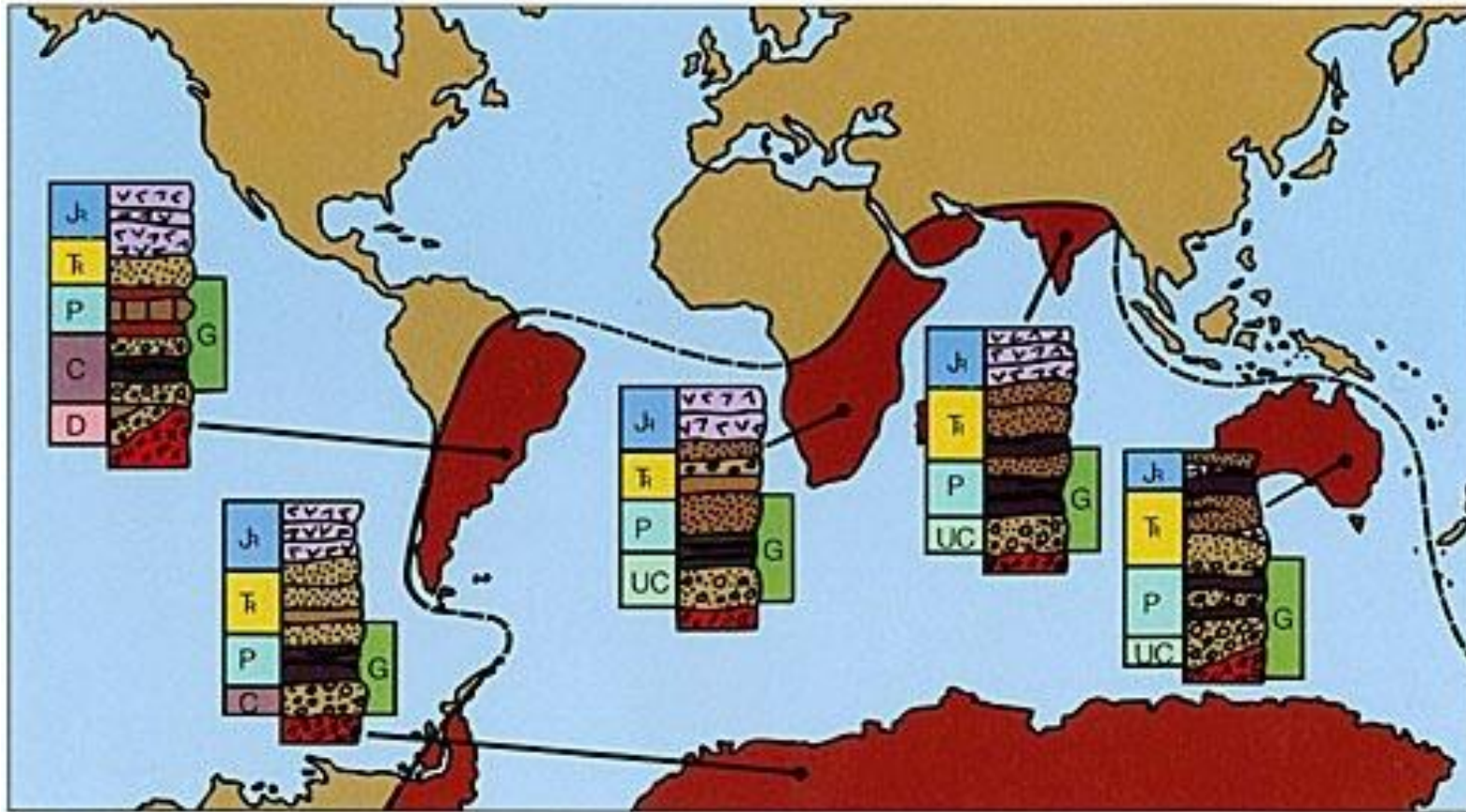
1915 - *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*

Obserwacje i argumenty A. Wegenera:

- podobieństwo skał i skamieniałości o analogicznym wieku na różnych, oddalonych od siebie kontynentach
- dane o dawnym klimacie wskazujące na istnienie połączonych kontynentów w przeszłości
- pasujące do siebie zarysy części linii brzegowych kontynentów



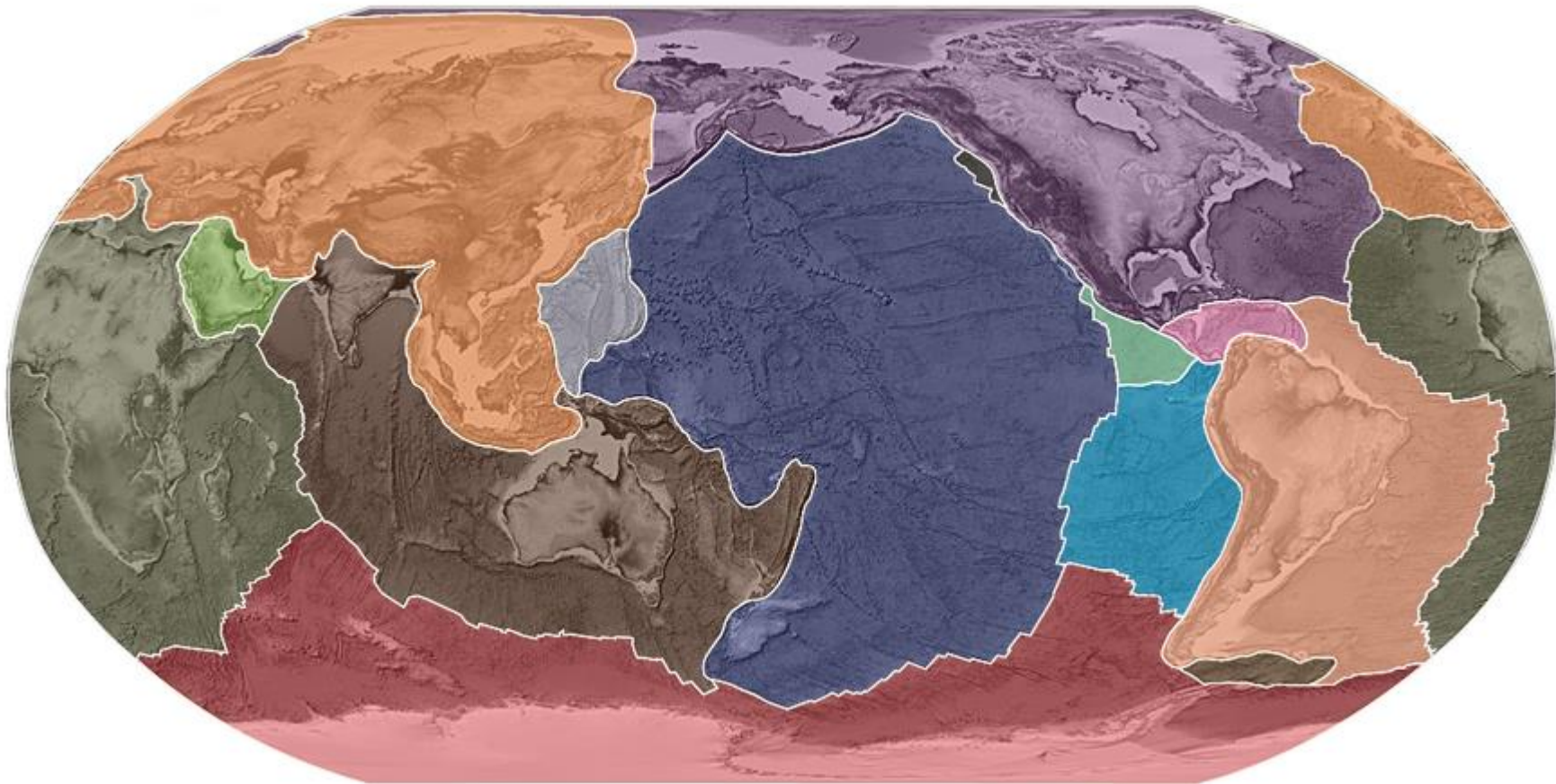
Rekonstruktionen der Erdkarte nach der Verschiebungstheorie für drei Zeiten.



**Podobieństwo skał
paleozoiku i mezozoiku
na dzisiejszych
kontynentach południowych**



Teoria tektoniki płyt



- **traktowana jest dziś jako najtrafniej tłumacząca procesy zachodzące na Ziemi**

Teoria tektoniki płyt

• Podstawowe założenia teorii tektoniki płyt:

- wierzchnia powłoka Ziemi (litosfera) jest podzielona na szereg płyt (kier), **istnieje kilkanaście płyt o większych rozmiarach, w tym siedem głównych**
- płyty te są sztywne i podlegają deformacjom głównie na swych krawędziach - granicach (gdzie występują pasma mobilne = górotwórcze)
- **płyty litosfery podlegają rozrostowi oraz destrukcji wzdłuż swych granic**
- płyty litosfery poruszają się, poziomo się przemieszczają
- **sztywne płyty litosfery przemieszczane są po plastycznej astenosferze**
- konwekcja materii w obrębie ziemskiego płaszcza (manifestująca się obecnością komórek konwekcyjnych – prądów konwekcyjnych) jest podstawowym mechanizmem odpowiedzialnym za ruch płyt litosfery
- **rozmiary Ziemi nie zmieniają się w sposób istotny w czasie geologicznym**
- istnieją trzy typy granic płyt: zbieżne, rozbieżne i konserwatywne

Teoria tektoniki płyt

Główne współczesne płyty litosfery



7 (8) płyt głównych: eurazjatycka, afrykańska, antarktyczna, północnoamerykańska, południowoamerykańska, pacyficzna, australijsko-indyjska (bywa dzielona na dwie osobne)

7 płyt mniejszych: arabska, filipińska, karaibska, Juan de Fuca, Cocos, Nazca, Sandwich Płd. (Scotia)

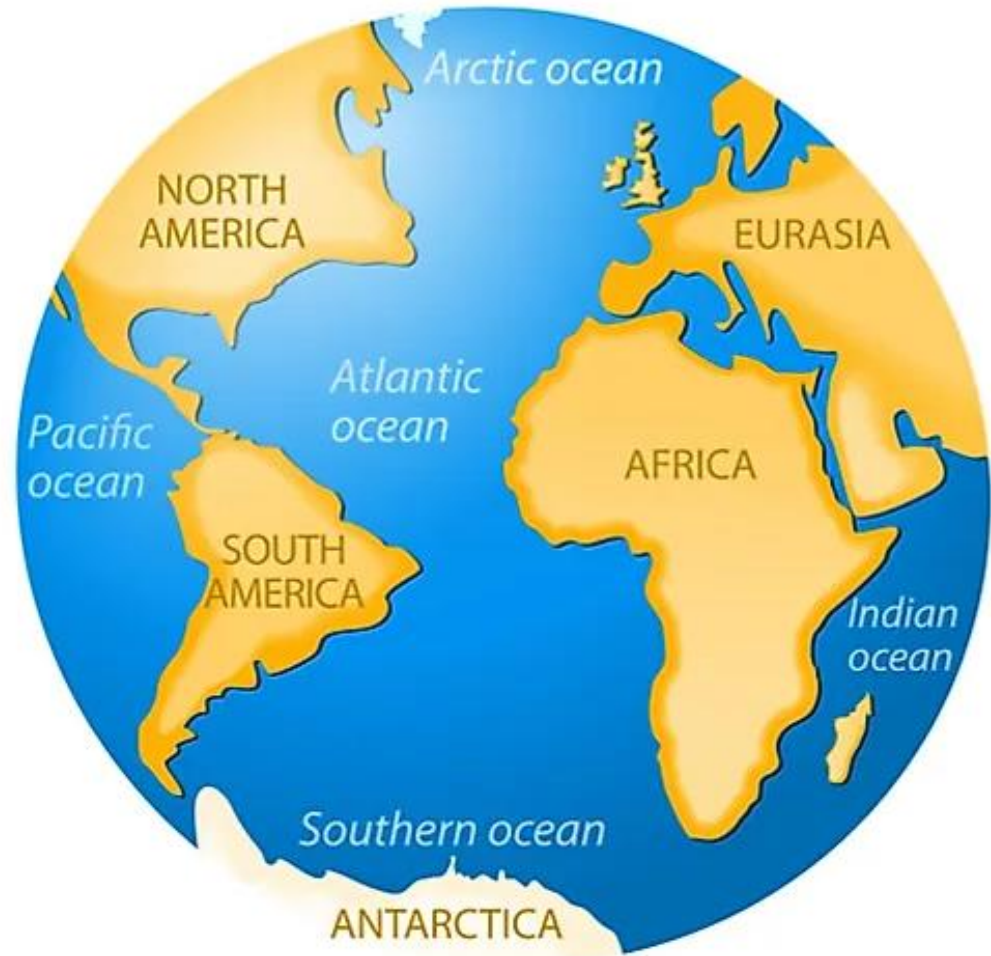
Teoria tektoniki płyt

Ruchy płyt litosfery

- Odpowiadają za zmiany układu kontynentów i oceanów na Ziemi w czasie geologicznym

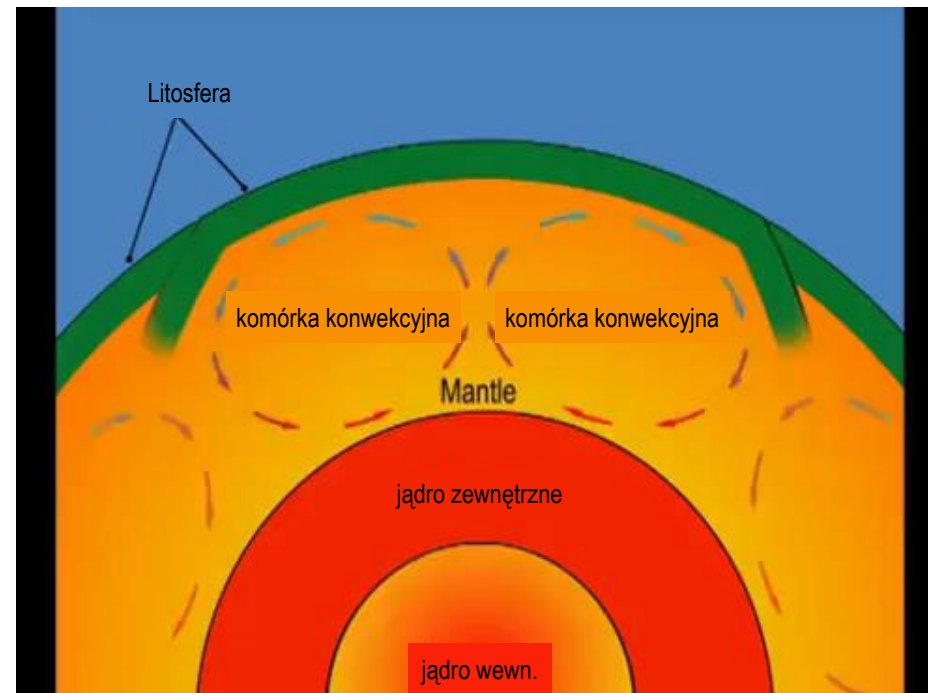
Ziemia 250 mln lat temu

Ziemia współcześnie



Ruchy płyt litosfery

- Tłumaczone są **konwekcją materii płaszczu Ziemi** (co dotyczy całego płaszczu)
- Mechanizm konwencji płaszczu opiera się na funkcjonowaniu **komórek konwekcyjnych**
- **Prądy konwekcyjne** w płaszczu wywołane są różnicą temperatur pomiędzy materią płaszczu położoną na jego różnych głębokościach
- Konwekcja zachodzi również w jądrze zewnętrznym Ziemi, co powoduje istnienie pola magnetycznego Ziemi

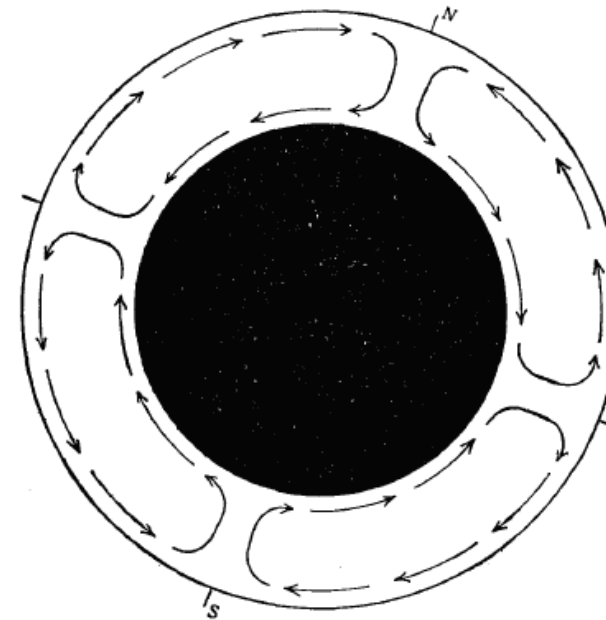
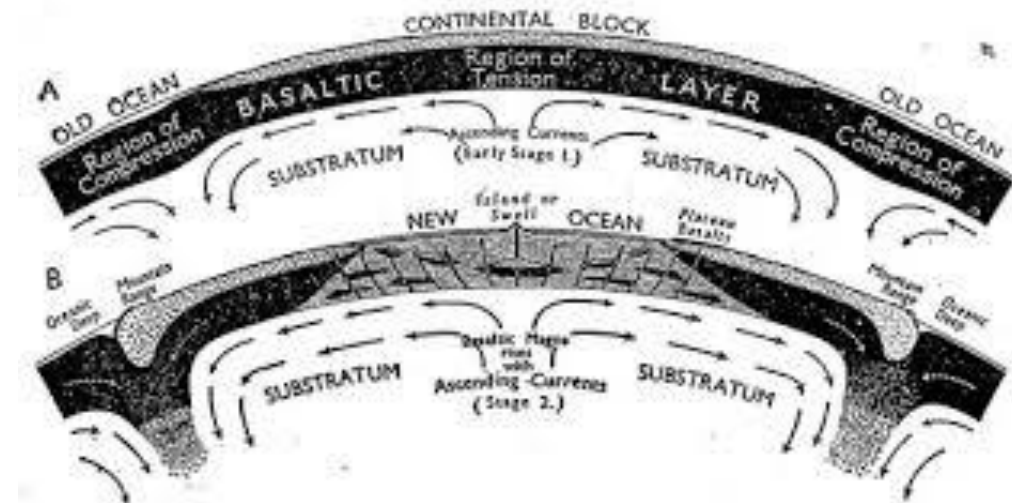


Konwekcja płaszczka Ziemi



Arthur Holmes
(1890-1965)

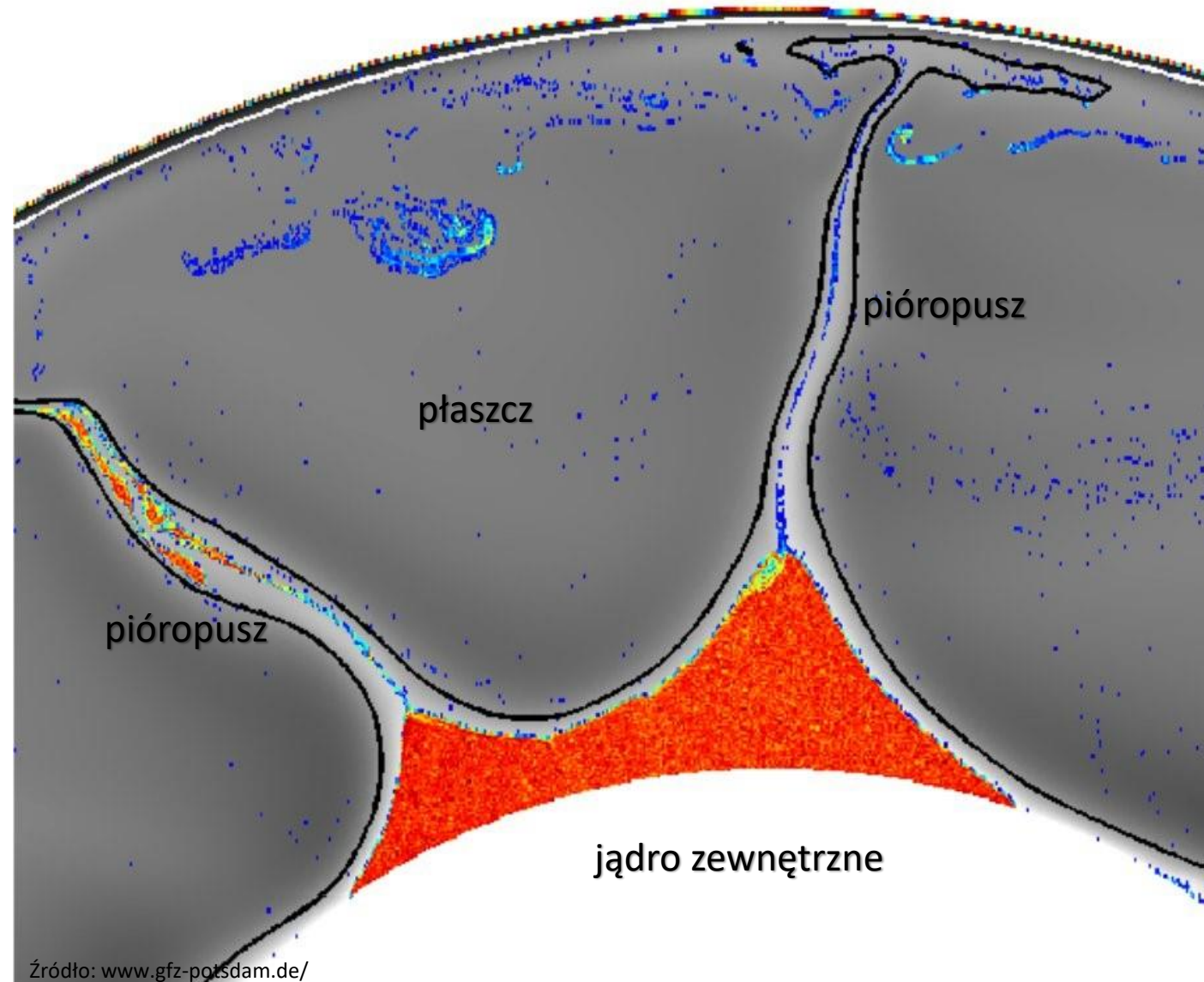
- Wybitny geolog brytyjski
- Pionier stosowania datowań radiometrycznych skał
- „Ojciec geologicznej skali czasu”
- Autor hipotezy o konwekcji płaszczka jako mechanizmu napędzającego ruch płyt (bloków) litosfery (1929 r.)
- Źródłem różnicy temperatur we wnętrzu Ziemi miała być według niego radioaktywność



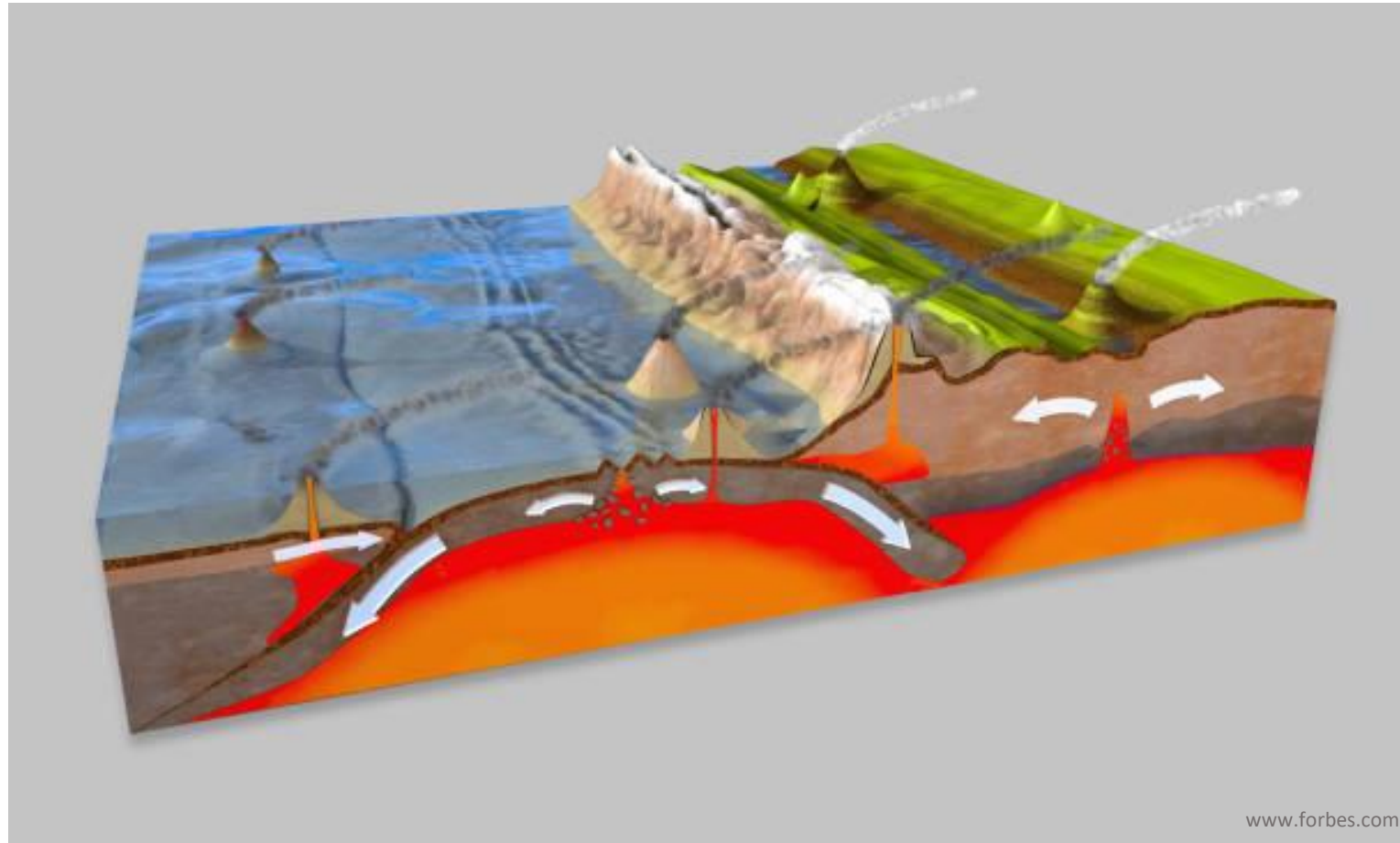
Ilustracje z prac A. Holmesa dotyczących konwekcji płaszczka

Pióropusze płaszcz

- wąskie kolumny szczególnie gorącej materii (skalnej) wznoszące się z głębokiego płaszcz w kierunku przypowierzchniowych partii Ziemi

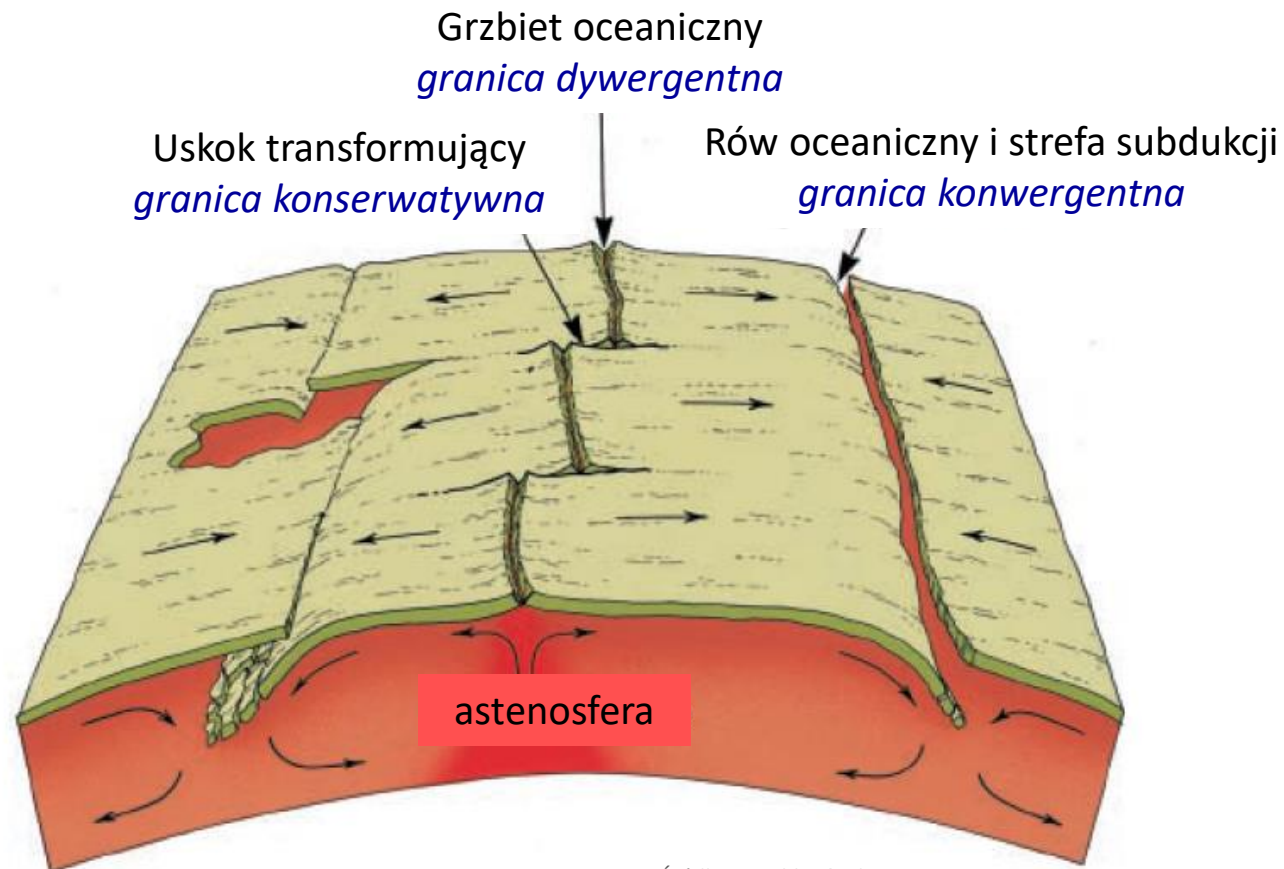


Główne elementy układu płyt litosfery i zachodzące w nim procesy



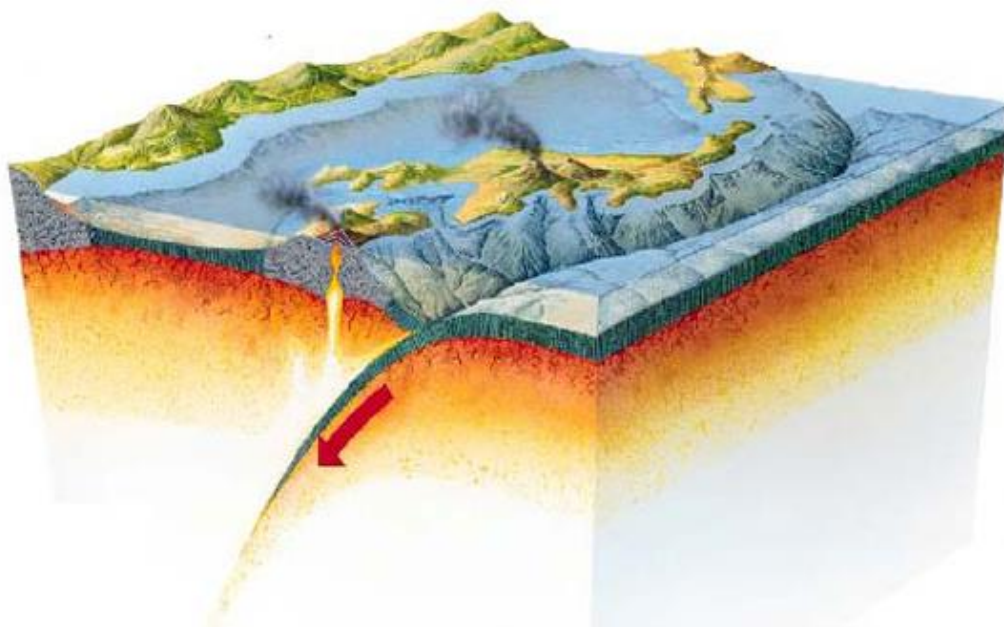
Typy granic płyt litosfery

- Rozbieżne = dywergentne (konstruktywne) – wzdłuż grzbietów oceanicznych
- Zbieżne = konwergentne (destruktywne) – wzdłuż rowów oceanicznych i pasm górotwórczych
- Konserwatywne – wzdłuż uskoków transformujących

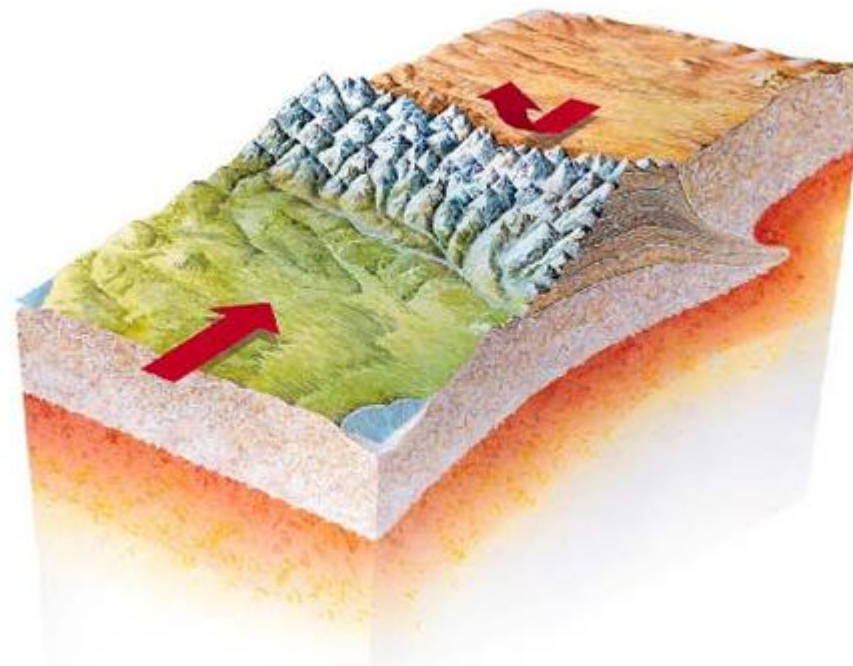


Główne elementy układu płyt litosfery i zachodzące w nim procesy

Granice zbieżne = konwergentne (destruktywne)



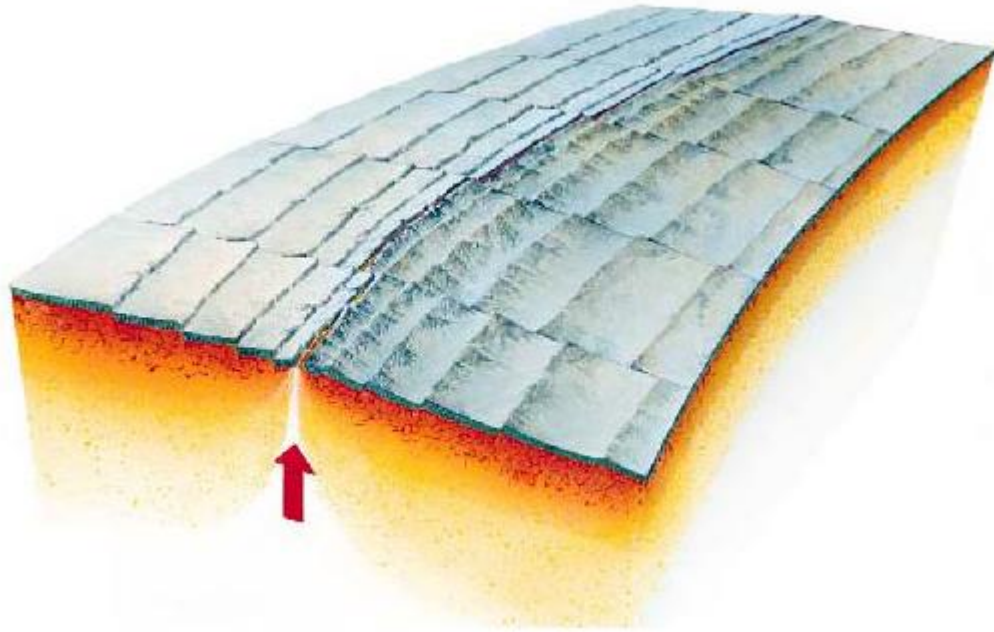
Strefy subdukcji



Strefy kolizji

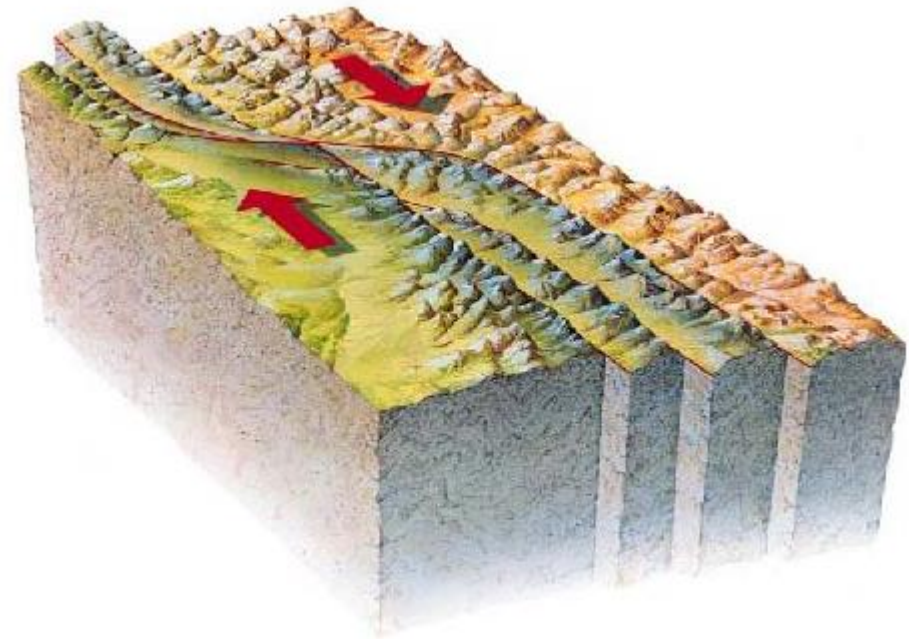
Główne elementy układu płyt litosfery i zachodzące w nich procesy

Granice rozbieżne = dywergentne (konstruktywne)



**Strefy ryftowania
i spreadingu**

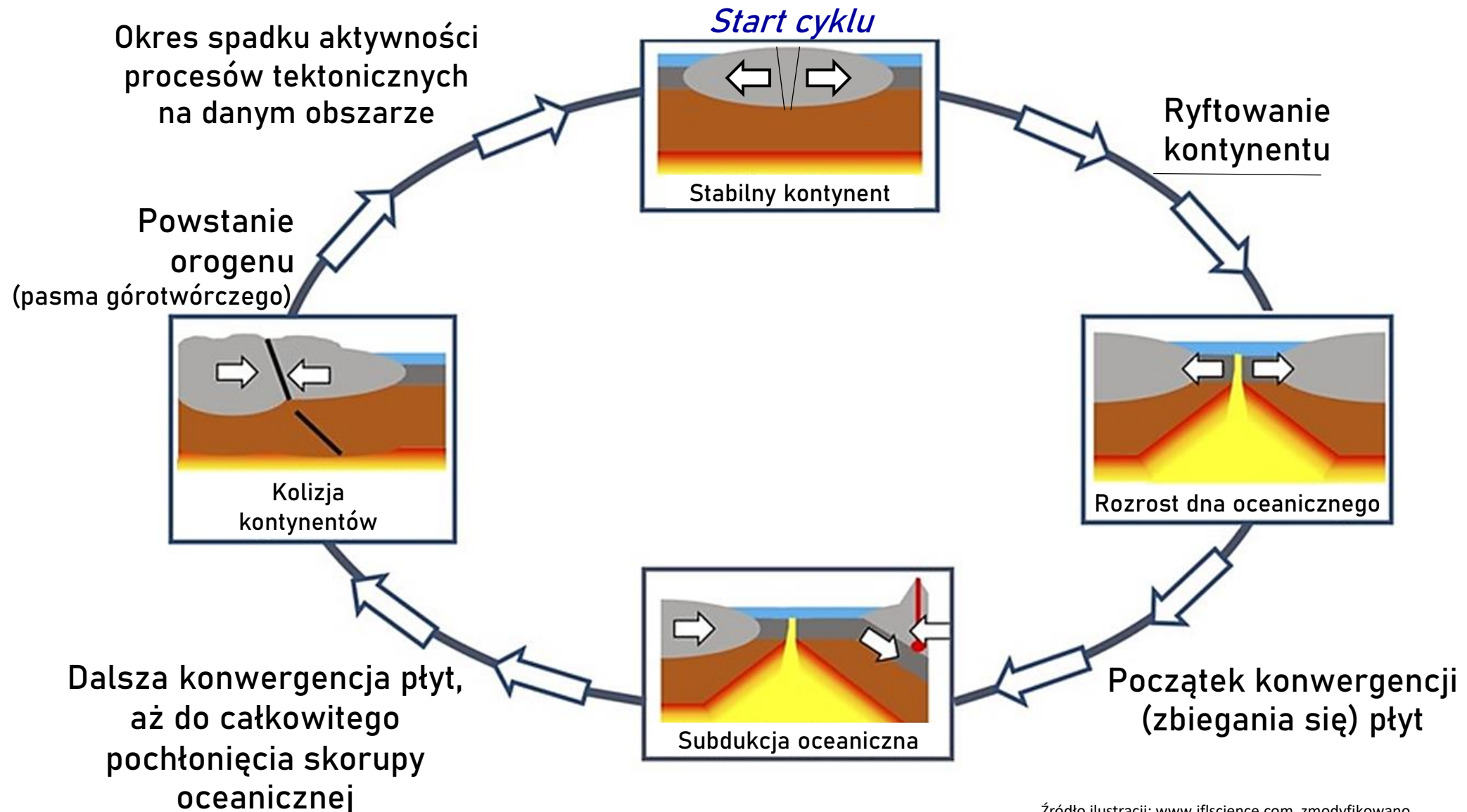
Granice konserwatywne



Uskoki transformujące

Cykl Wilsona

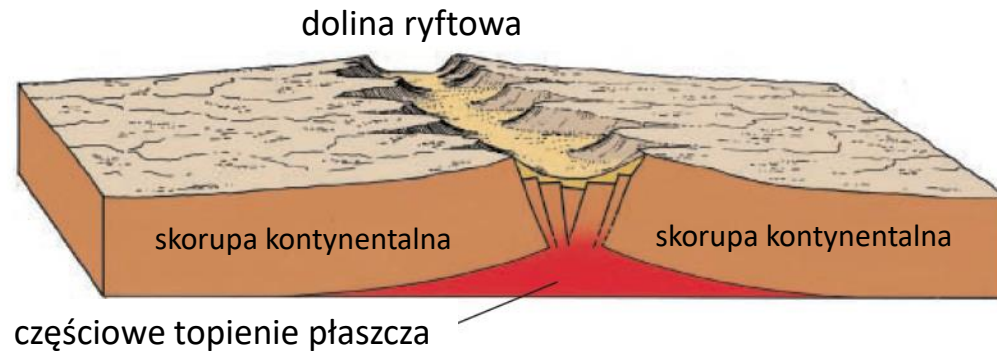
- Cykl ewolucyjny w obrębie litosfery Ziemi – łączy w całość procesy tektoniki płyt
- Nazwany na cześć wybitnego kanadyjskiego geofizyka i geologa J. Tuzo Wilsona



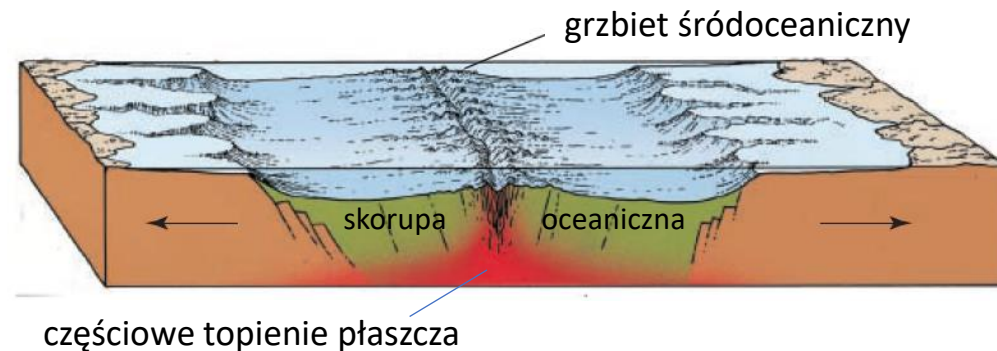
Rozpad i dywergencja płyt litosfery

- **Strefy ryftowe**

- ryfty kontynentalne: rozpad kontynentu
- ryfty oceaniczne (zaawansowane stadium ryftowania): spreading dna oceanicznego stanowią GRANICE DYWERGENTNE
- zachodzi tam tworzenie się skorupy oceanicznej z magm, głównie bazaltowych, powstających poprzez częściowe topienie skał płaszcz



ryft kontynentalny
(w rzeźbie - dolina ryftowa)



ryft oceaniczny
(w rzeźbie - grzbiet śródoceaniczny)

Ryfty

Dolina ryftowa – strefa w obrębie rozciąganej, pękającego kontynentu lub element grzbietu śródoceanicznego;



Ryft rzeki Rio Grande (USA) –
przykład aktywnej doliny ryftowej na kontynencie

Ryfty

Dolina ryftowa – strefa w obrębie rozciąganego, pękającego kontynentu lub element grzbietu śródoceanicznego; docelowo strefa produkcji i rozrostu (spreadingu) skorupy oceanicznej

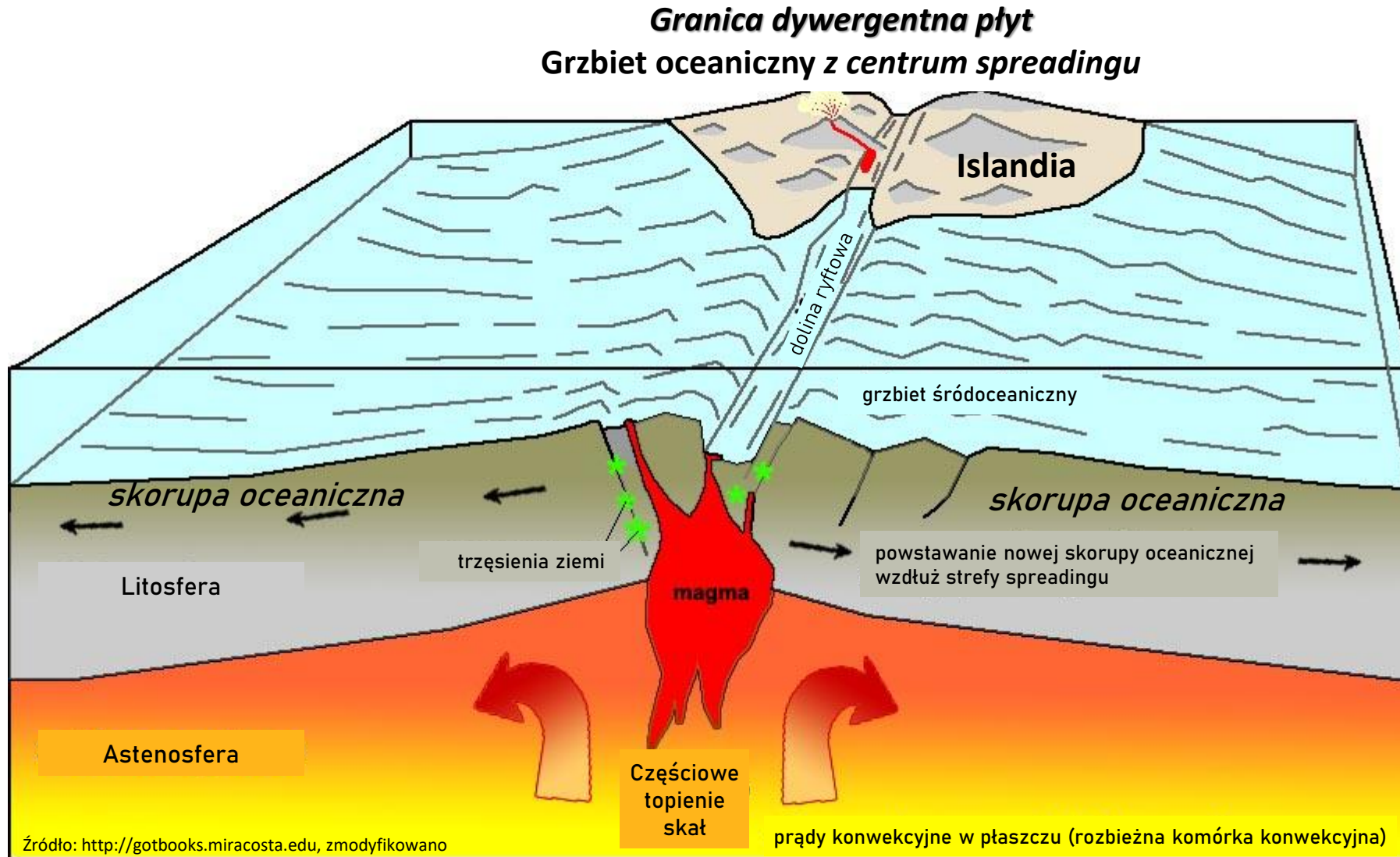


Źródło: www.britannica.com

Strefa uskokowa Thingvellir na Islandii – przykład aktywnej doliny ryftowej na oceanie

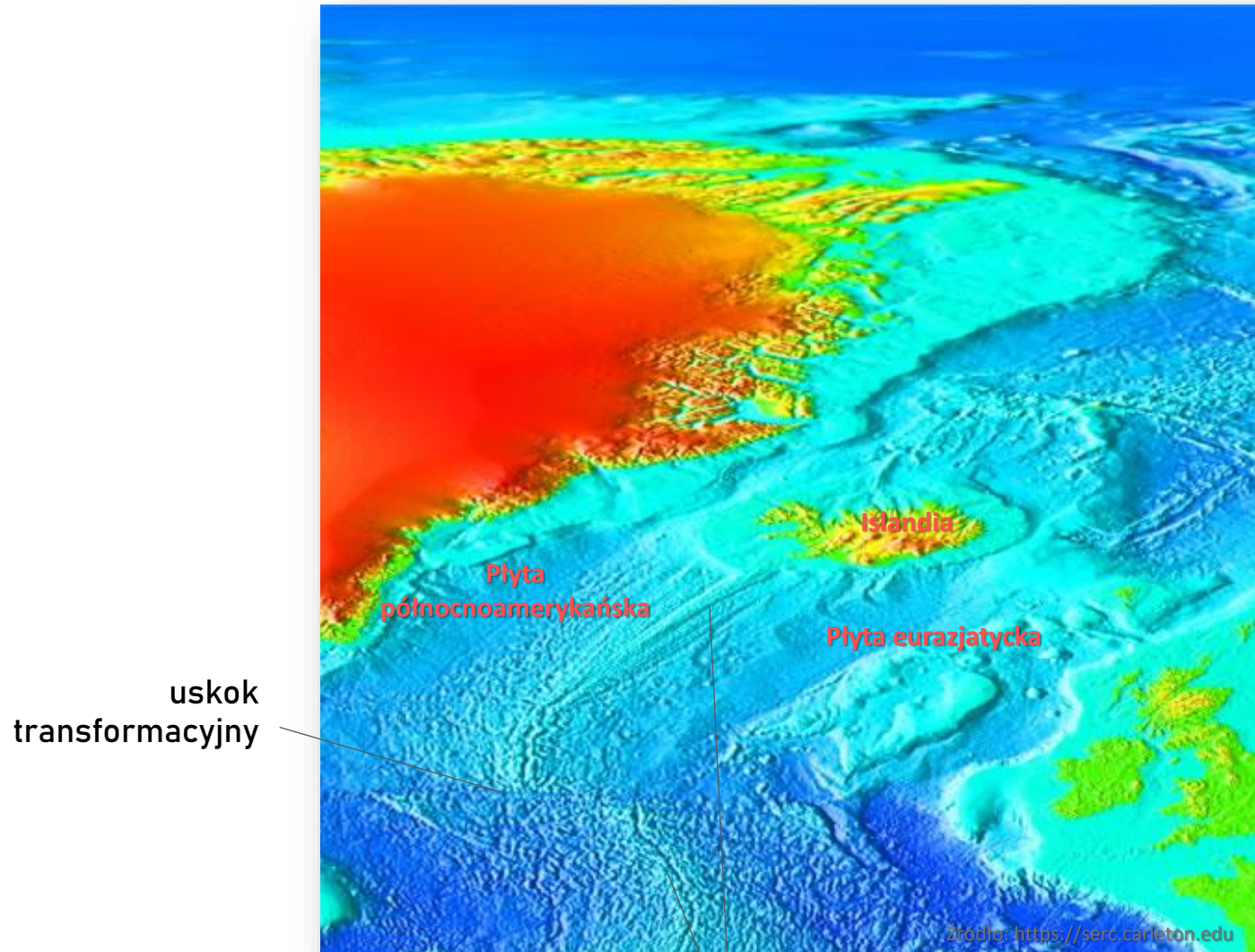
Ryfty a strefy spreadingu

Dolina ryftowa – strefa w obrębie rozciąganego, pękającego kontynentu lub element grzbietu śródoceanicznego; docelowo strefa produkcji i rozrostu (spreadingu) skorupy oceanicznej



Grzbiety śródoceaniczne

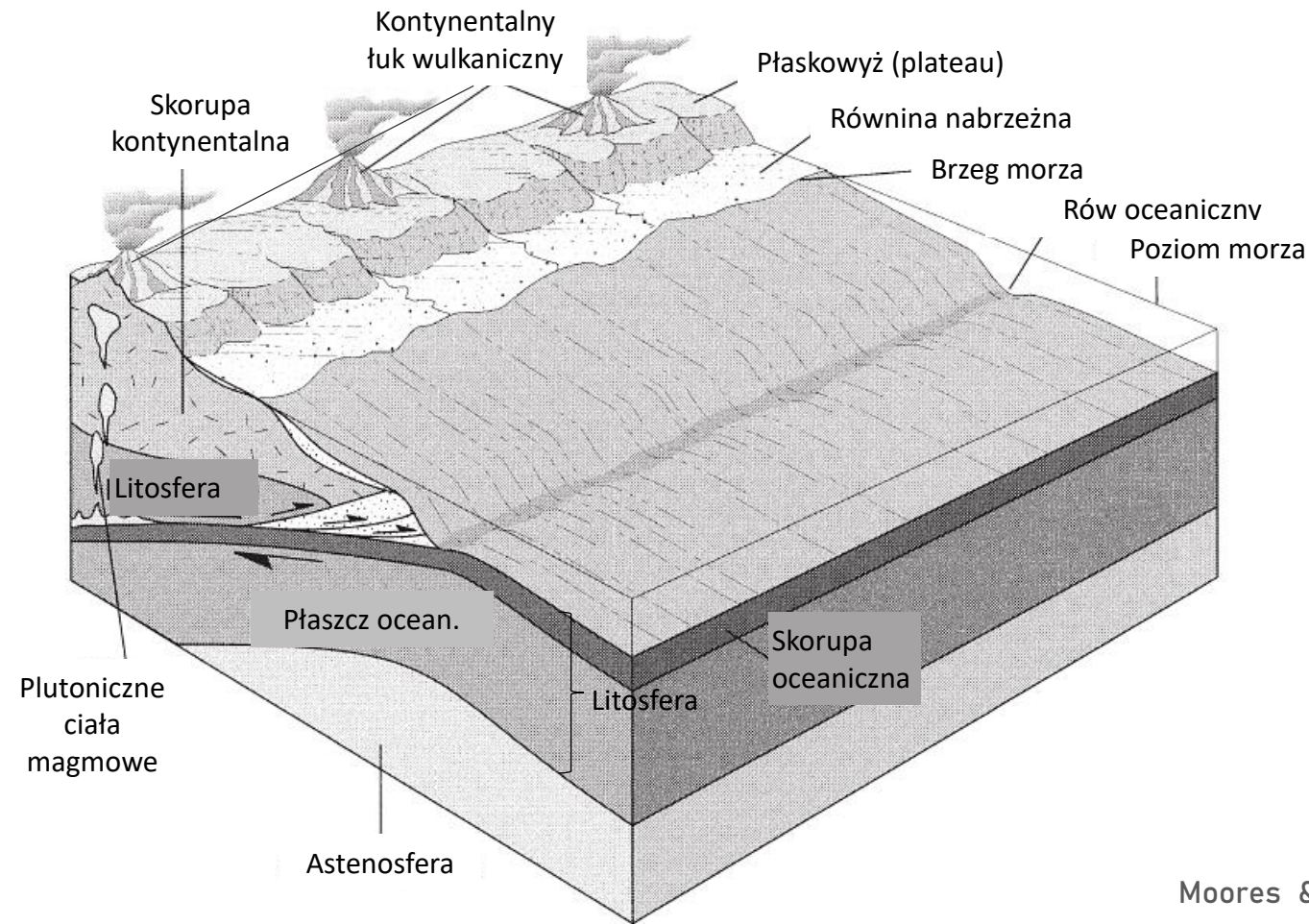
- wyniesione fragmenty dna oceanicznego, gdzie zachodzą aktywne procesy dwustronnego rozrostu (spreadingu) płyt oceanicznych



Grzbiet Śród atlantycki w swej północnej części

Konwergencja płyt litosfery - subdukcja

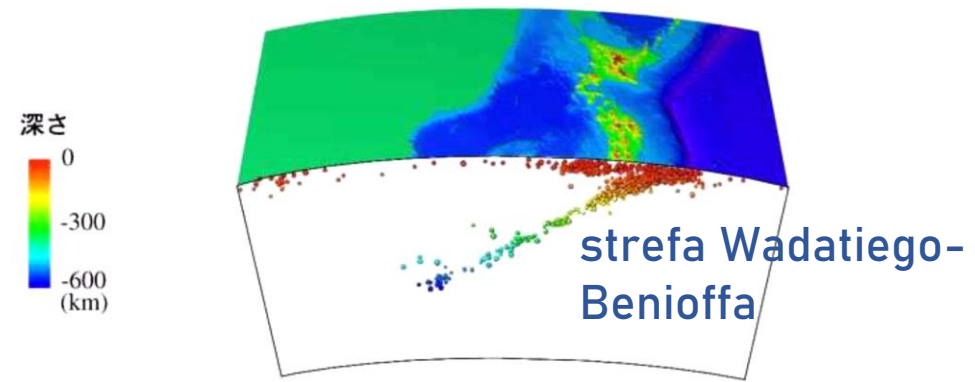
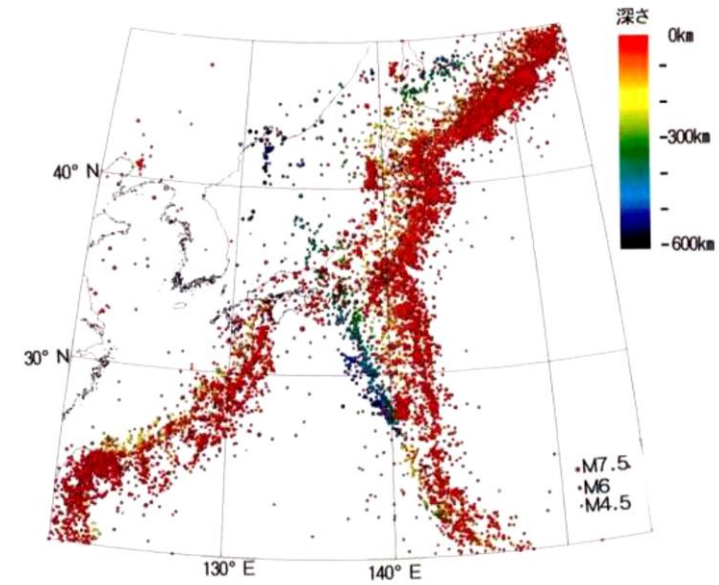
- Granica destruktywna między płytami litosfery
- Pograżanie litosfery oceanicznej pod kontynent
- Zachodzi tam rozwój kontynentalnego łuku wulkanicznego
- Tworzenie się rowu oceanicznego
- Docelowo w strefie subdukcji powstaje pasmo orogeniczne (np. Andy)



Strefy Wadatiego-Benioffa

- skośne, asymetryczne na przekrojach rozkłady ognisk trzęsień ziemi

ich odkrycie przyczyniło się do identyfikacji i wyjaśnienia zasad aktywności stref subdukcji



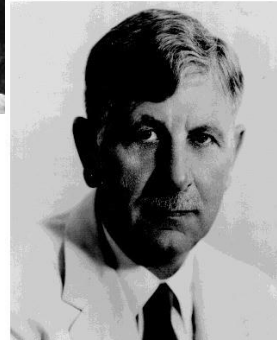
Kiyoo Wadati
(1902-1995)

- 1928, 1935

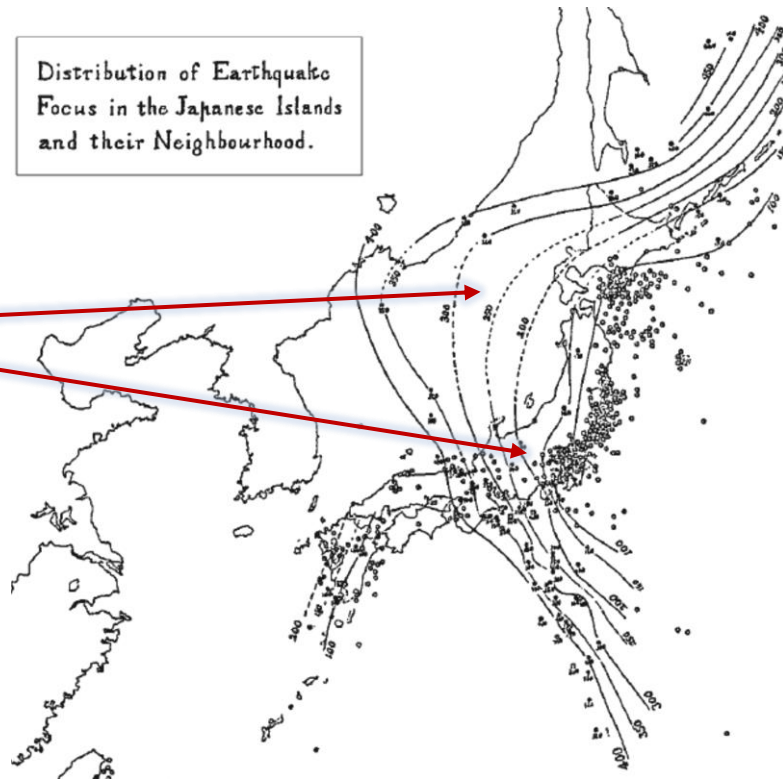


Hugo Benioff
(1899-1968)

- 1949



Distribution of Earthquake Focus in the Japanese Islands and their Neighbourhood.

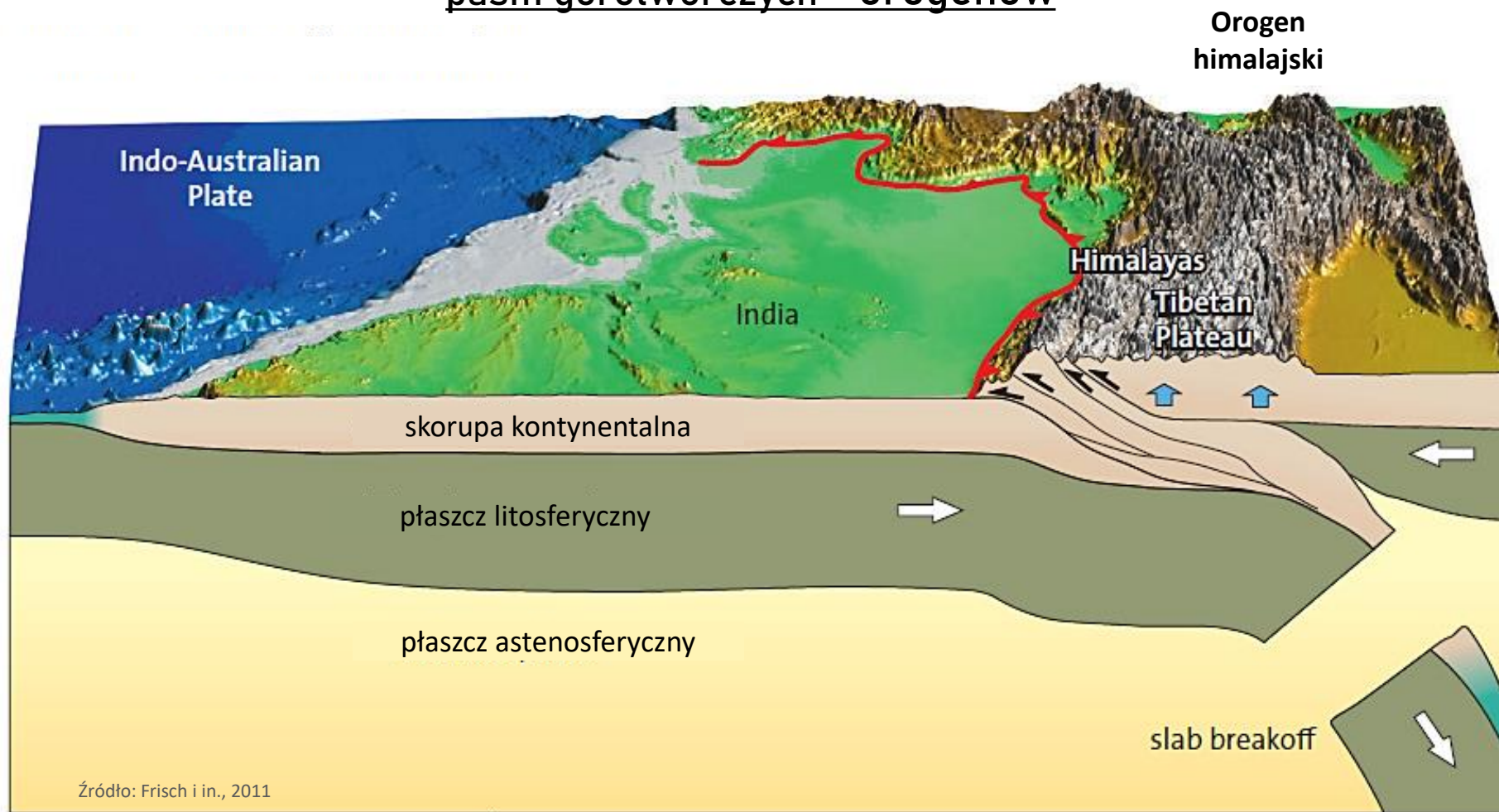


sejsmolodzy –
odkrywczy
zjawiska

asymetryczne
rozmieszczenie
głębokości ognisk
trzęsień ziemi

Strefy kolizji kontynentów

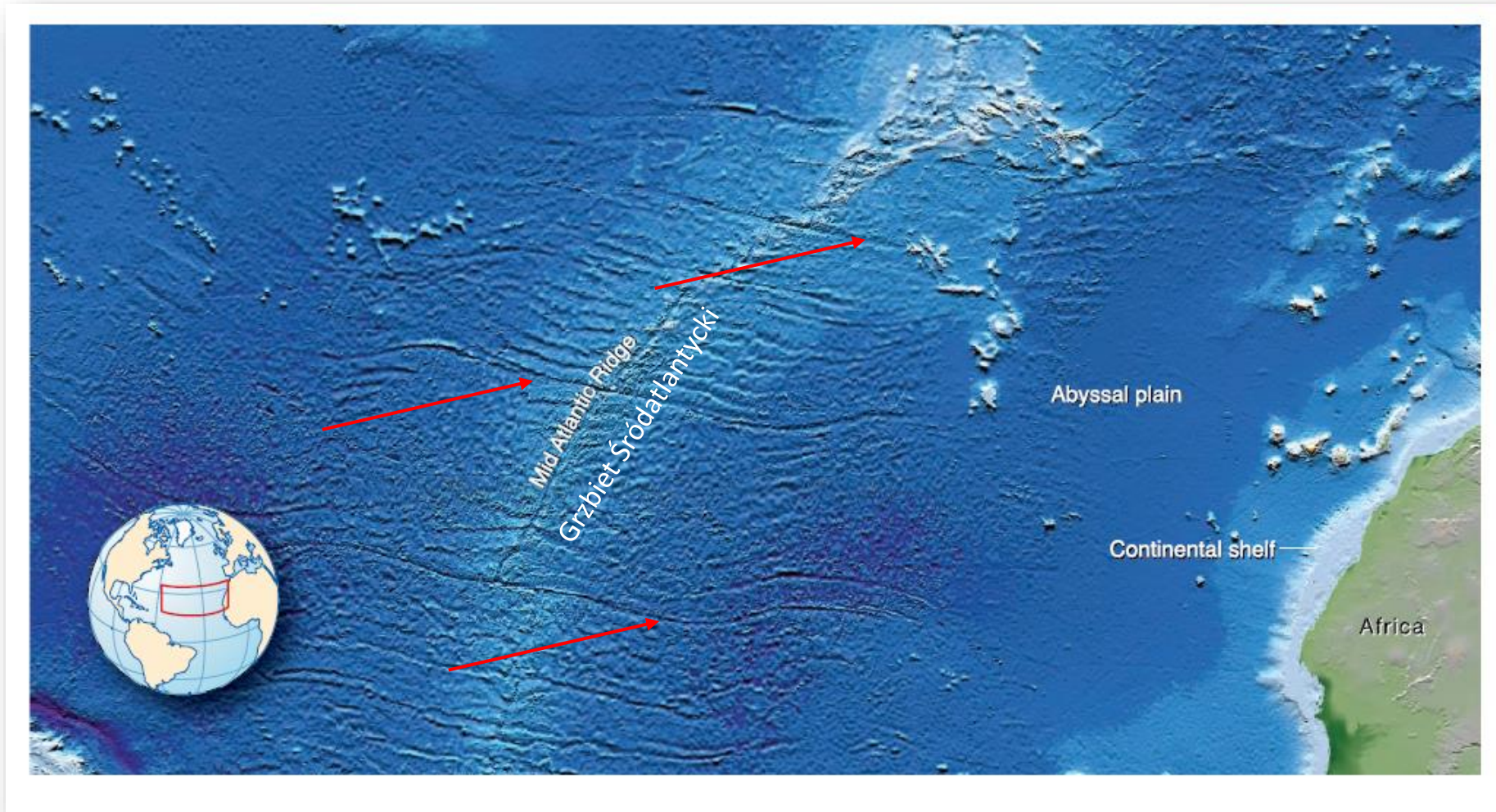
Strefy kolizji kontynentów stanowią ważne miejsca rozwoju pasm górotwórczych - orogénów



Slab breakoff – odłamywanie się płyty (płata tonącego), pęknięcie subdukowanej płyty i wywołane w jego następstwie „utonięcie” jej głębszej, oderwanej części w obrębie ziemskiego płaszczka

Krawędzie konserwatywne płyt - uskoki transformujące

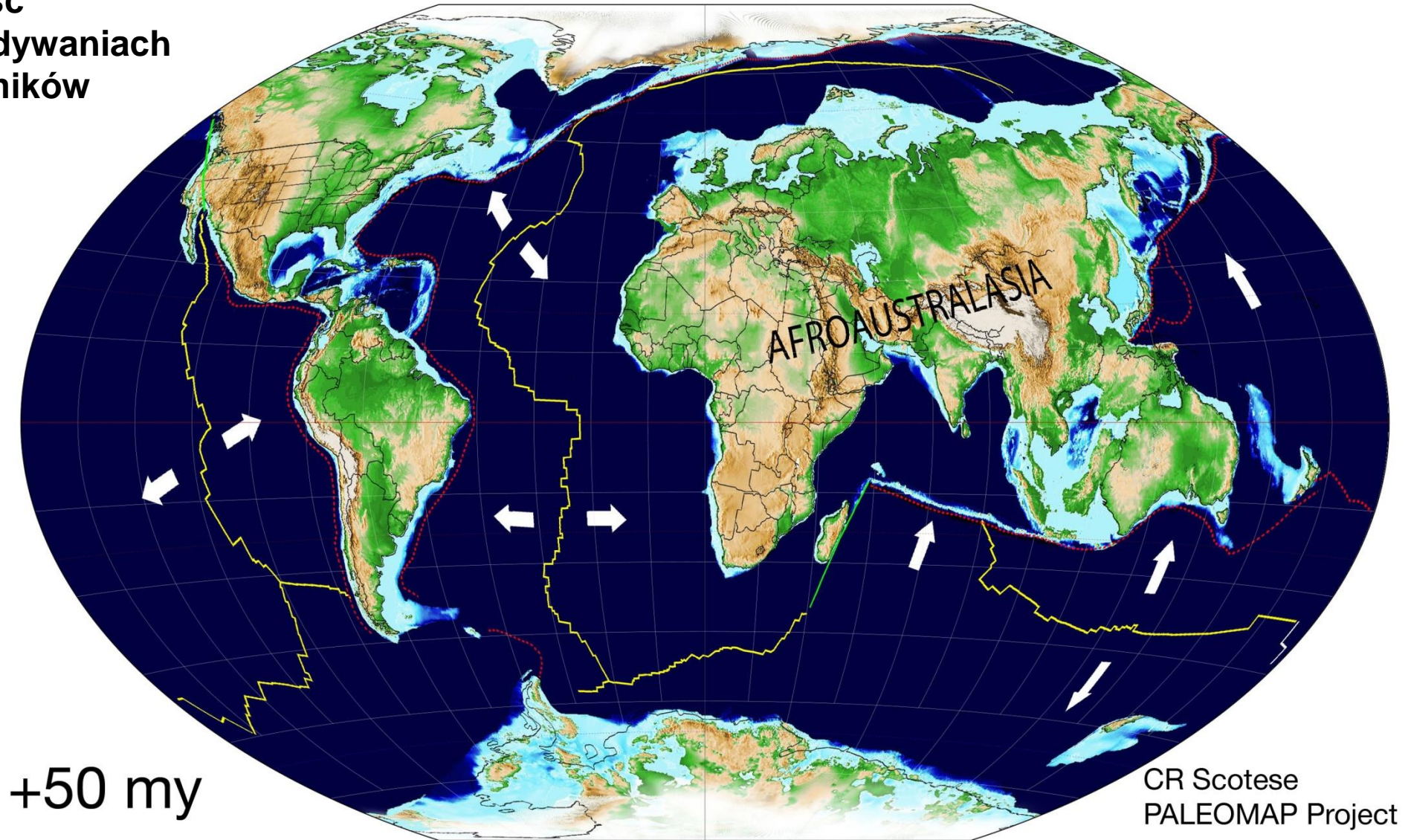
- stanowią granice między płytami litosfery nie związane z ich przyrostem lub niszczeniem



Uskoki transformujące przebiegające w poprzek Grzbietu Śródatlantyckiego
i przemieszczające ten grzbiet śródoceaniczny

Gorąco zachęcam do pogłębiania wiedzy geologicznej!

Przyszłość
w przewidywaniach
geotektoników



+50 my

CR Scotese
PALEOMAP Project

Ziemia za 50 milionów lat (przewidywania)

Źródło: Scotese, 2015

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa w ramach programu
Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą
Spółeczna odpowiedzialność nauki – Popularyzacja nauki i promocja sportu,
nr projektu SONP/SP/546432/2022,
kwota dofinansowania 112 920,00 zł, całkowita wartość projektu 125 640,00 zł.



Ministerstwo
Edukacji i Nauki



UNIwersYTET
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



Wydział Nauk
Geograficznych i Geologicznych