

Tektonika płyt czy ekspansja Ziemi?

Grzegorz Gorczyński

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii
E-mail: gregorczyński@gmail.com

Tutor: dr Ewa Szymczak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Geologii Morza

Słowa kluczowe – *Ziemia, tektonika, ekspansja, litosfera, płyty, teoria*

Wstęp

Budowa Ziemi fascynuje człowieka od dawna, a badanie jej wnętrza w czasach współczesnych stanowi przedmiot dociekań naukowych. Przez setki lat uczeni spirali się o wiele różnych aspektów dotyczących jej położenia we Wszechświecie, kształtu, powstania i budowy. Ustalono już, że ma kształt zbliżony do elipsoidy obrotowej i wcale nie znajduje się w centrum Wszechświata, jak niegdyś sądzono. Natomiast wciąż jest bardzo wiele zagadek dotyczących procesów zachodzących w jej wnętrzu. Współcześnie najbardziej akceptowaną teorią dotyczącą wielkoskalowych ruchów ziemskiej litosfery i ich konsekwencji jest teoria tektoniki płyt. Niemniej, nie odpowiada ona na wszystkie nurtujące badaczy pytania. Niektórzy z nich wysunęli zaskakującą hipotezę, że rozmiary Ziemi wcale nie muszą być stałe. Nasuwa się tu pytanie, czy mogą oni mieć rację?

Teoria tektoniki płyt

Historia

Zanim przyjęta została teoria tektoniki płyt, pojawiły się hipotezy mówiące o dryfie kontynentów. Za twórcę teorii dryfu kontynentów uważa się powszechnie Alfreda Wegenera, choć nie jest on pierwszym badaczem, któremu mobilność kontynentów wydała się możliwa. Teorię o rozdzieleniu się kontynentów, które obecnie otaczają Atlantycką Ocean, jako pierwszy wysunął Antonio Snider-Pellegrini w publikacji *La création et ses mystères dévoilés* (1858). Uważał on, że kontynenty zostały rozdzielone podczas biblijnego Potopu poprzez ekstensywne spękania lądów (Hallam, 1974).

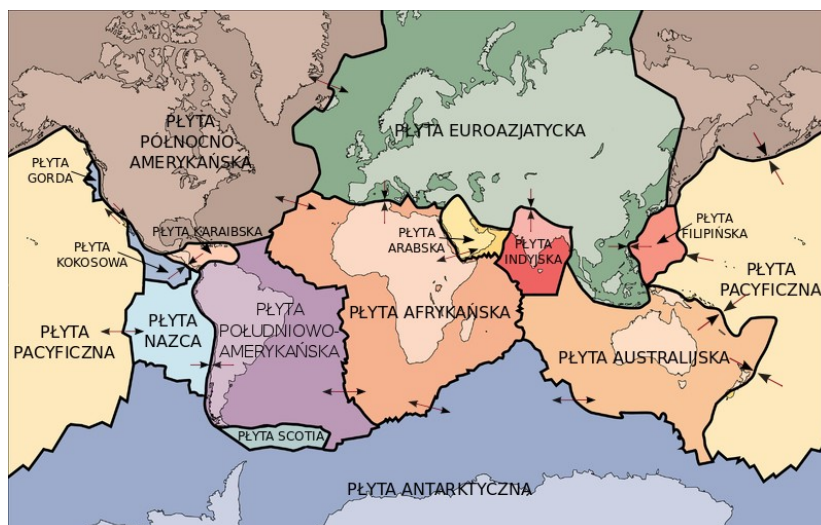
Rozgłos hipotezie o dryfie kontynentalnym zapewnili F. B. Taylor oraz wspomniany już A. Wegener. Pierwszy z wymienionych naukowców opublikował w 1910 r. swą hipotezę, którą próbował wyjaśnić powstanie gór łańcuchowych. Uważał, że ruch kontynentów jest spowodowany przez siły pływowe i w wyniku zderzania się lądów płasko leżące utwory ulegają łańcuchowaniu (Czechowski, 1994).

Pełniejszą argumentację przedstawił Alfred Wegener, dzięki czemu uważa się go za twórcę teorii dryfu kontynentów. W swojej książce *Entstehung der Kontinente und Ozeane* przedstawił tezę, według której ruch kontynentów polegał na rozpadnięciu się jednego pierwotnego superkontynentu, zwanego Pangeą. Oparł swoje twierdzenia m.in. na podobieństwie granic szelfowych kontynentów, podobnych strukturach geologicznych widocznych po obu stronach Atlantyku, występowaniu tych samych kopalnych gatunków roślin i zwierząt na różnych kontynentach oraz pomiarach długości geograficznych Waszyngtonu i Paryża, które również świadczyły o tym, że kontynenty Eurazji i Ameryki oddalają się od siebie. Teorii tej brakowało jednak przekonującego argumentu wyjaśniającego mechanizm i przyczynę dryfu kontynentów, przez co straciła swą popularność (Czechowski, 1994).

Teoria tektoniki płyt ukształtowała się ostatecznie kilkadziesiąt lat później. Z wyników kolejnych badań wynikało, że to nie same kontynenty się poruszają, lecz sztywne płyty, na które składają się zarówno obszary lądowe, jak i dno oceaniczne. Przełomowym momentem było uznanie w latach 60. XX w. przez Roberta Dietza i Harry'ego Hessa ryftu za strefę, w której rozrasta się dno oceaniczne. Kolejnym ważnym dokonaniem było wprowadzenie, w roku 1965, przez T. Wilsona pojęcia uskoku transformacyjnego, które tłumaczyło duże przesunięcia płyt litosfery względem siebie. W 1967 r. zaś J. Olivier i B. Isaacks uznali strefy rowów oceanicznych za miejsca, gdzie płyty litosferyczne zapadają się w głąb płaszczka ziemskiego (Czechowski, 1994). Wszystkie te odkrycia pozwoliły stworzyć teorię tektoniki płyt litosfery, która wyjaśnia wszystkie zjawiska i procesy tektoniczne i jest kompleksową syntezą geodynamiki Ziemi.

Główne założenia

Teoria tektoniki płyt zakłada, że skorupa ziemska podzielona jest na kilkanaście sztywnych płyt (Ryc. 1), obejmujących zarówno skorupę kontynentalną jak i oceaniczną. Płyty te przesuwają się poziomo. Zjawisko to zachodzi dzięki konwekcji w niejednorodnym ośrodku – płaszczku ziemskim. Mechanizm konwekcji i ruch materii stanowi nierozwikłaną zagadkę. Nie ma jednak wątpliwości, że ruch płyt odbywa się dzięki energii cieplnej wnętrza Ziemi. Gorąca materia płaszczka wynoszona jest w pobliżu powierzchni Ziemi, gdy tam dotrze, ulega ochłodzeniu i może opaść z powrotem w kierunku wnętrza planety. Ten proces prowadzi do powstania komórek konwekcyjnych.

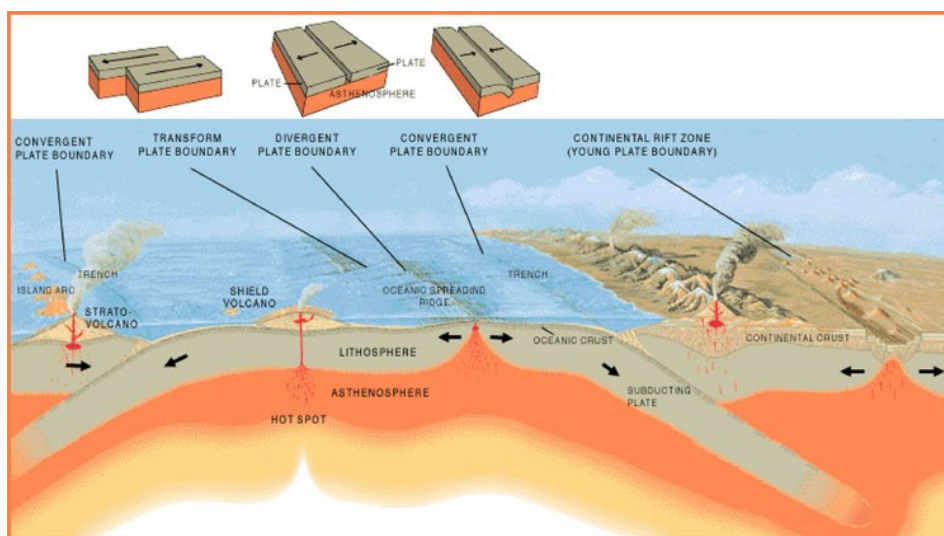


Ryc. 1. Mapa płyt tektonicznych
(<https://zywaplaneta.pl/trzesienia-ziemi-polska/>)

Przesuwający się półplastyczny materiał skalny płaszczu ziemskiego powoduje również powolny ruch sztywnej, leżącej na nim skorupy ziemskiej (Detrick, 2004), choć są również głosy mówiące o tym, że to konwekcja płaszczu ziemskiego jest spowodowana przez ruch płyt. Według tych hipotez, to płyty litosfery, będące gęstsze od płaszczu ziemskiego, zapadają się w nim i wprawiają roztopiony materiał skalny w ruch (Stern, 2007). Zagadką pozostaje to, ile jest komórek konwekcyjnych w płaszczu ziemskim (Detrick, 2004).

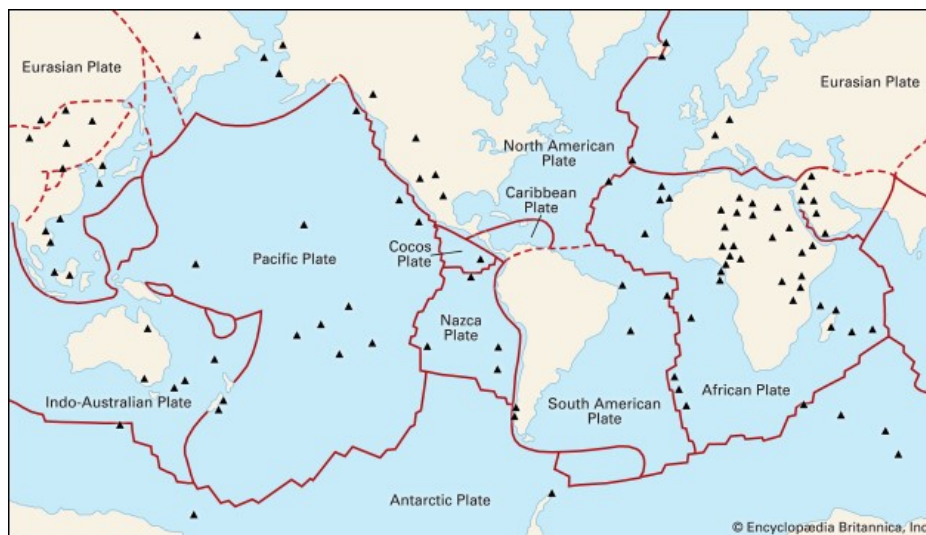
Skutki opisanych procesów możemy obserwować na powierzchni Ziemi, głównie w okolicach granic płyt tektonicznych (Ryc. 2). Tam, gdzie dwie płyty oceaniczne się od siebie oddalają, następuje wypływ magmy na powierzchnię Ziemi. Powstaje nowa skorupa oceaniczna, która tworzy jednocześnie grzbiet śródoceaniczny, w którym zachodzą procesy wulkaniczne (Detrick, 2004). Tam zaś, gdzie odsuwają się od siebie dwie płyty kontynentalne, dochodzi do powstania rowu tektonicznego i w konsekwencji rozpadu kontynentu. Z czasem rów ten zostaje zalany przez ocean i pojawia się w nim również skorupa oceaniczna (Czechowski, 1994).

Kiedy dwie płyty się do siebie przybliżają, gęstsza z nich zapada się pod tę lżejszą. Proces ten określany jest jako subdukcja. Gdy starsza płyta oceaniczna zapada się pod inną, młodszą i zarazem lżejszą płytę oceaniczną, powstaje rów oceaniczny oraz łuk wysp wulkanicznych. Jeżeli zaś płyta oceaniczna zapada się pod płytę kontynentalną, również dochodzi do powstania rowu oceanicznego, ale zamiast łuku wysp wypiętrza się kontynentalny łuk wulkaniczny (Detrick, 2004). Strefy te charakteryzują się silnym wulkanizmem oraz obecnością trzęsień ziemi związanych z pogrążaniem płyty. Czasami dochodzi do sytuacji, kiedy to dwie płyty kontynentalne się do siebie przybliżają. Wówczas powstaje łańcuch gór łańcuchów, jak np. łańcuch alpejsko-himalajski. Nie oznacza to jednak, że w odległej przeszłości nie było tam strefy subdukcji. Uważa się bowiem, że np. w miejscu obecnych Alp i Himalajów był niegdyś Ocean Tetydy, który został skonsumowany. Pod pasmem Hindukuszu stwierdzono występowanie subdukującej niemal pionowo płyty na głębokości 250 km (Le Pichon, Francheteau, Bonnin, 1973). Czasami na lądzie znajduje się również fragmenty dawnej skorupy oceanicznej, określane jako ofiolity. Są to to zestawione ze sobą czerty, bazalty, dajki, gabra oraz skały ultrazasadowe. Uważa się je za kopalne fragmenty skorupy oceanicznej, ponieważ zawierają te same rodzaje skał co strefy spreadingu (Burke, 2011).



Ryc. 2. Główne rodzaje granic płyt tektonicznych i zjawiska na nich zachodzące (<http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html>)

Procesy zachodzące na granicach płyt tektonicznych nie tłumaczą jednak wszystkich zjawisk wulkanicznych zachodzących na Ziemi. Istnieją również obszary wulkaniczne z dala od tych obszarów (Ryc. 3). Ich powstawanie tłumaczone jest występowaniem pióropuszy gorąca, powstających między płaszczem a jądrem Ziemi. Gorąca magma wznosi się aż do powierzchni Ziemi. Obszary, w których one występują, nazywane są Wielkimi Prowincjami Magmatycznymi (ang. *Large Igneous Provinces*). Prawdopodobnie są nieruchome względem osi Ziemi, a ponad nimi przesuwiają się płyty tektoniczne (Burke, 2011). Tak powstały m.in. Hawaje.



Ryc. 3. Wulkany generowane przez hot-spoty na tle granic płyt tektonicznych
(<https://www.britannica.com/science/plate-tectonics>)

Teoria ekspansji Ziemi

Historia

Pierwsze głosy mówiące o tym, że Ziemia może ekspandować zaczęły pojawiać się pod koniec XIX wieku. Włoski geolog, Roberto Mantovani, w ten właśnie sposób zinterpretował podobieństwo wybrzeży po obu stronach Atlantyku. W XX wieku głównie niemieccy badacze postulowali ekspansję. Jednym z nich był Lindemann, który właśnie w ekspansji Ziemi upatrywał przyczynę rozpadu Pangei, o której mówił Wegener. Z kolei J. Keindl i O. Hilgenberg niezależnie od siebie uważali, że Ziemia pierwotnie składała się tylko ze skorupy kontynentalnej, a później powstały powiększające się baseny oceaniczne. Podobny pogląd prezentował L. Brösske w 1962 roku (Carrey, 1976).

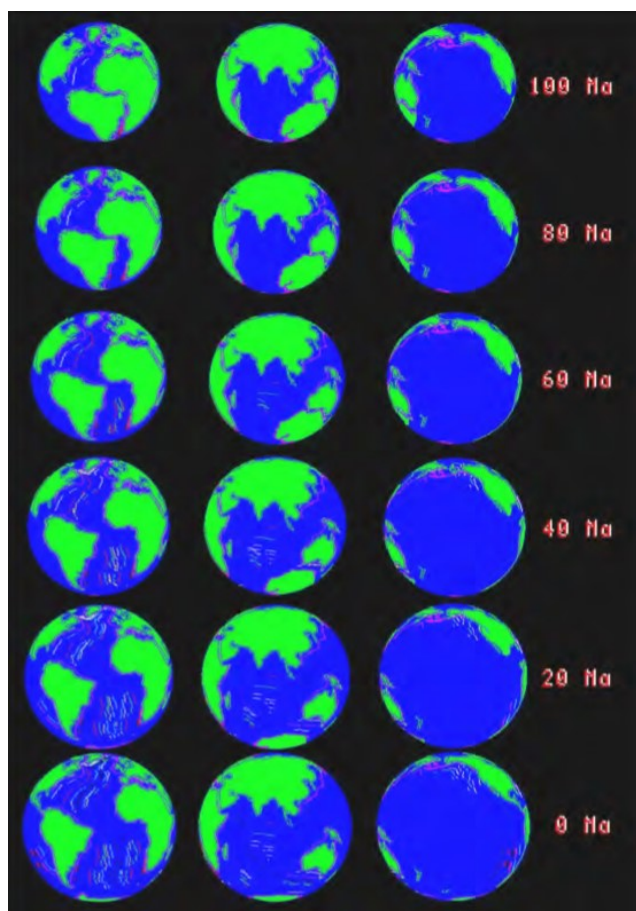
Australijczyk Rhodes Fairbridge w 1964 r. uznał, że młody wiek basenów oceanicznych świadczy o ekspansji Ziemi. Twierdził on, że rowy oceaniczne wcale nie są miejscem, w którym skorupa ziemską zanika. Jordan zaś uważał, że przyczyną ekspansji są zmiany stałej grawitacyjnej. Jego zdaniem ekspansja była jedynym wyjaśnieniem tego, że Ziemia jest przykryta nieciągłą warstwą skorupy kontynentalnej. R. Dearnley był kolejnym badaczem, który zupełnie inaczej niż zwolennicy tektoniki płyt interpretował zjawiska, jakie możemy zaobserwować na powierzchni Ziemi. Uważał on bowiem, że efektem istnienia komórek konwekcyjnych płaszcza ziemskiego, które powodują powstanie wybrzuszeń na skorupie ziemskiej, są góry (Carrey, 1976).

N. Waterhouse stwierdził w 1967 roku, że ekspansja zachodzi począwszy od jury. Uważał, że skorupa oceaniczna się rozszerza, przenosząc ze sobą skorupę kontynentalną. Z tym ostatnim poglądem zgadzał się również profesor uniwersytetu w Hobart, Samuel Warren Carrey, lecz jego zdaniem proces ekspansji Ziemi zachodzi od początku istnienia planety i zwiększa swoje tempo. Wyraził on również pogląd, że wbrew teorii tektoniki płyt, rozmieszczenie rowów oceanicznych nie jest skorelowane z rozmieszczeniem ryftów i że każdy kontynent od czasów paleozoiku zwiększył odległość od sąsiadujących kontynentów (Carrey, 1976).

Do współczesnych zwolenników teorii ekspansji Ziemi, którzy wciąż są w mniejszości wobec naukowców opowiadających się za teorią tektoniki płyt, należą m.in.: Włosi Giancarlo Scalera oraz Enzo Boschi i Polacy Jan Koziar oraz Stefan Cwojdzński.

Główne założenia

Teoria ekspansji Ziemi zakłada, że Ziemia się rozszerza (Ryc. 4), w przeciwieństwie do teorii tektoniki płyt, która zakłada stałe wymiary Ziemi (Koziar, 2008). Zwolennicy teorii tektoniki płyt zakładają, że ruch płyt tektonicznych odbywa się po plastycznym podłożu astenosferycznym. Przy założeniu, że Ziemia się nie powiększa, przybytek nowej skorupy oceanicznej w strefach spreadingu musi być kompensowany przez jej ubytek w strefach subdukcji. Jeżeli jednak ta kompensacja nie zachodzi lub jest nie wystarczająca, dochodzi do zwiększenia się wymiarów Ziemi (Cwojdzński, 2015). Zwolennicy teorii ekspansji Ziemi opierają swoje twierdzenia na dowodach, które zostaną przedstawione w dalszej części artykułu.

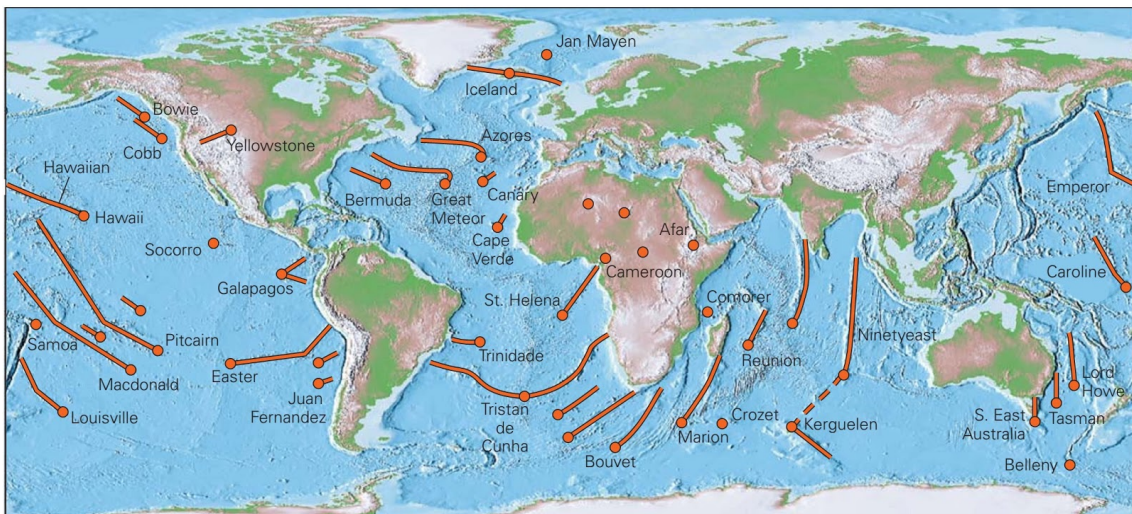


Ryc. 4. Rekonstrukcja ekspandującej Ziemi
(Hurrel, 2012)

Dowody na ekspansję Ziemi

Jednym z argumentów jest fakt, że długość stref spreadingu jest około dwóch razy większa od długości stref subdukcji. Trudno jest w tej sytuacji utrzymać pogląd, że wymiary Ziemi są stałe. Żeby przyrost skorupy ziemskiej był rekompensowany przez jej ubytek, subdukcja musiałaby zachodzić z większą prędkością (Ollier, 1987). Oznaczałoby to, że te same płyty tektoniczne poruszają się z różną prędkością na swoich przeciwległych końcach, co jest trudne do wyobrażenia, gdy weźmie się pod uwagę sztywność litosfery i brak jej rozciągłości.

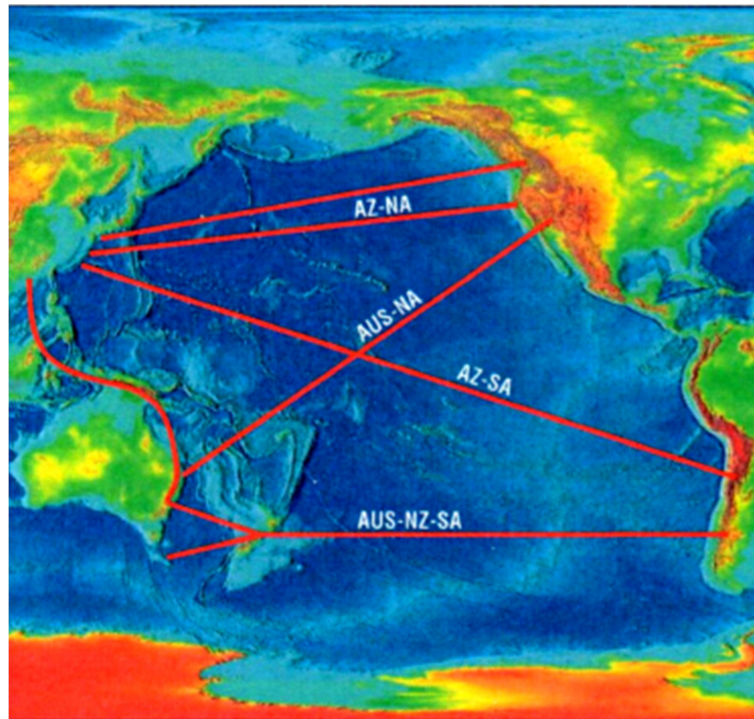
W analogiczny sposób o ekspansji naszej planety świadczy tzw. „paradoks arktyczny”. Jak wynika z różnych badań – paleoklimatycznych, paleomagnetycznych, tektonicznych – Australia, Ameryka Północna i Południowa, Afryka, Indie, Europa oraz Grenlandia znajdują się obecnie bardziej na północ niż u schyłku ery paleozoicznej oraz w mezozoiku. Na Ziemi o stałych wymiarach, kontynenty te musiałyby zbiegać się w Arktyce. Tymczasem, Arktyka również jest rozbieżna (Carrey, 1976). Rzeczywiście, w Oceanie Arktycznym nie zachodzi subdukcja, lecz powolny spreading pośrodku grzbietu Gakkela (Nikishin i in., 2017). Oznacza to, że przyrost skorupy ziemskiej z jednej strony nie jest kompensowany poprzez jej ubytek z drugiej strony, lecz zachodzi po obydwu stronach kuli ziemskiej. Na ogólny ruch płyt tektonicznych w kierunku północnym wskazuje również fakt, że na półkuli północnej łądy zajmują dużo większą powierzchnię niż na południowej. Podobnie łańcuchy wulkaniczne generowane przez nieruchome plamy gorąca skierowane są w kierunku północnym (Ryc. 5); występują jedynie odchylenia w kierunku wschodnim lub zachodnim (Koziar, 2008).



Ryc. 5. Orientacja łańcuchów wulkanicznych, generowanych przez hotspoty
(<http://geologylearn.blogspot.com/2016/02/special-locations-in-plate-mosaic.html>)

Argumentów za zwiększaniem się rozmiarów Ziemi można szukać również w odkryciach paleontologicznych i paleogeograficznych. Na przykład na podstawie linii przyrostu w koralach może zostać określona liczba dni w roku. We współczesnych koralach liczba linii, odpowiadająca liczbie dób w roku, wynosi około 360, podczas gdy w koralach górnokarbońskich około 390. Zaś w koralach pochodzących ze środkowego dewonu liczba ta odpowiada około 400 dniom w roku. Większa liczba dni w roku może świadczyć jednocześnie o krótszej dobie i mniejszych rozmiarach Ziemi w przeszłości geologicznej (Ollier, 1987).

Również analizując kontynenty okalające Pacyfik, można zacząć mieć wątpliwości co do stałych rozmiarów Ziemi. Jeżeli bowiem rozmiary Ziemi są stałe, to gdy istniała Pangea, lądy te powinny były być znacznie oddalone od siebie. Badania jednak wykazały podobieństwo kopalnych faun i flor na przeciwległych brzegach dzisiejszego Oceanu Spokojnego (Ryc. 6.). Ponieważ znajdowane tam organizmy, jak ramienionogi, trylobity, owady czy rośliny, mają ograniczoną możliwość poruszania się, świadczy to o tym, że Pacyfik jednak był niegdyś zamknięty (Cwojdziański, 2015). Taka wizja największego oceanu świata jest również zgodna z cyklem Wilsona. Według niego, baseny oceaniczne cyklicznie otwierają się i zamykają (Burke, 2011). Jeżeli zatem z jednej strony planety Atlantyk, a z drugiej strony Pacyfik otwierają się, oznacza to, że Ziemia zwiększa swoje rozmiary.



Ryc. 6. Główne paleobiogeograficzne powiązania między kontynentami okalającymi Pacyfik (Cwojdziański, 2015)

Kolejnym paleontologicznym argumentem za tym, że w przeszłości geologicznej rozmiary Ziemi były mniejsze, są rozmiary, jakie w minionych epokach osiągały zwierzęta. Olbrzymie gady, takie jak *Triceratops*, czy owady, jak ważka *Meganeuropsis permiana*, o rozpiętości skrzydeł aż 72 cm, prawdopodobnie też musiały się swobodnie poruszać w celu zdobywania pokarmu lub rozmnażania się. Na planecie o takiej sile grawitacji jaką obecnie obserwujemy na Ziemi, byłoby to bardzo utrudnione. Niemniej, jeżeli za ich życia Ziemia była mniejsza, a co za tym idzie miała mniejszą grawitację, wówczas mogłyby one poruszać się tak jak dzisiejsze zwierzęta. Podobnie szyja zauropodów, takich jak *Diplodocus*, musiałaby być sztywna i mieć bardzo silne więzadła, żeby gad mógł ją utrzymać nad ziemią. Uważa się jednak, że zauropody mogły podnosić swoje szyje tak jak inne kręgowce. Umożliwiłaby im to właśnie zmniejszona grawitacja (Hurrell, 2012). Wydaje się mało prawdopodobne, aby ewolucja wykreowała tak niepraktyczne rozwiązania. Jest to więc silny argument za tym, że siła grawitacja w odległej przeszłości była słabsza niż obecnie.

Dyskusja

Żadna z przedstawionych teorii nie jest doskonała. Jednym z najsłabszych punktów teorii ekspansji Ziemi jest to, że nadal nie został wyjaśniony ani mechanizm, ani przyczyna zmiany rozmiarów planety. Niemniej, nieznaną przyczynę i mechanizm powstawania zjawiska jeszcze nie świadczą o braku jego istnienia. Dobrym przykładem jest tutaj dryf kontynentalny, postulowany przez Alfreda Wegenera. Choć został uznany za nieprawdziwy, późniejsze badania wykazały, iż faktycznie zachodzi, choć w nieco inny sposób niż myślał Niemiec (Ollier, 1987). Jeżeli Ziemia faktycznie ekspanduje, nasuwają się kolejne pytania. Czy ekspanduje od zawsze? Czy ekspansja zachodzi ze stałą prędkością? Czy kiedykolwiek jej promień się ustabilizuje? Czy może po pewnym czasie zacznie się kurczyć? Na te pytania nikt jeszcze nie poznał odpowiedzi.

Choć obydwie teorie często uważane są za przeciwstawne, nie wykluczają się do końca nawzajem. Sam ruch płyt tektonicznych nie oznacza jeszcze, że wymiary Ziemi muszą być stałe. Podobnie ekspansja Ziemi jako planety nie oznacza braku obecności płyt tektonicznych. Wspólnym elementem obu teorii jest choćby obecność stref spreadingu.

Być może za jakiś czas powstanie nowa teoria, będąca fuzją teorii tektoniki płyt i teorii ekspansji Ziemi i będzie lepiej tłumaczyła sposób, w jaki ewoluje nasza planeta. Nie jest jednak wykluczone, że obydwie te teorie nie opierają się na błędzie. Historia pokazuje, że wiele wyobrażeń dotyczących naszej planety okazało się całkowicie błędnych. Świadczy to o tym, jak bardzo złożonym obiektem jest Ziemia i jak mało o niej wiemy. Zjawiska tektoniki czy też ekspansji zachodzą tak powoli, że nie jesteśmy w stanie ich w bezpośredni sposób zaobserwować. Jest też możliwe, że w przyszłości powstanie kolejna teoria dotycząca budowy i ewolucji Ziemi, poparta kolejnymi, nowymi odkryciami.

Literatura

- Burke, K., 2011. Plate Tectonics, the Wilson Cycle, and Mantle Plumes: Geodynamics from the Top. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39, 1–29.
- Carrey, S. W., 1976. *The Expanding Earth*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Cwojdziański, S., 2015. Dzieło Alfreda Wegenera a teoria ekspansji Ziemi. *Przegląd Geologiczny*, vol. 63, nr 11, 1292–301.
- Czechowski, L., 1994. *Tektonika płyt i konwekcja w płaszczu Ziemi*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Detrick, R., 2004. The Engine that Drives the Earth. Peering into the mantle to reveal the inner workings of our planet. *Oceanus Magazine*, vol. 42, No. 2.
- Hallam, A., 1973. *A revolution in the Earth sciences. From continental drift to plate tectonics*, Londyn, Oxford University Press.
- Hurrell, S., 2012. Ancient Life's Gravity and its Implications for the Expanding Earth. [w.] G. Scalera, E. Boschi, S. Cwojdziański (red.) *The Earth Expansion Evidence – A Challenge for Geology, Geophysics and Astronomy*, Rzym, Aracne.
- Koziar, J., 2009. *Ekspansja Ziemi a tektonika płyt*, Wrocław, Wrocławska Pracownia Geotektoniczna.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., Bonnin, J., 1973. *Plate Tectonics*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.

Nikishin, A. M., Gaina, C., Petrov, E.I., Malyshev, N.,A., Freiman, S.,I., 2017. Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultra-slow spreading and continental rifting revealed by new seismic data. *Tectonophysics* (2017), 1–19.

Ollier, C., 1987. *Tektonika a formy krajobrazu*, Warszawa, Wydawnictwo Geologiczne.

Stern, R. J., 2007. When and how did plate tectonics begin? Theoretical and empirical considerations. *Chinese Science Bulletin*, March 2007, vol. 52, No. 5, 578–591.

<https://zywaplaneta.pl/trzesienia-ziemi-polska/>, [Dostęp: 15.05.2018]

<http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html>, [Dostęp: 15.05.2018]

<https://www.britannica.com/science/plate-tectonics>, [Dostęp: 15.05.2018]

<http://geologylearn.blogspot.com/2016/02/special-locations-in-plate-mosaic.html>, [Dostęp: 15.05.2018]

Krótką notką o autorze: *Student II roku geologii I stopnia na Uniwersytecie Gdańskim. Główne zainteresowania to paleontologia i historia Ziemi oraz procesy zachodzące we wnętrzu planety.*