

## Dzielo Alfreda Wegenera a teoria ekspansji Ziemi

Stefan Cwojdzński<sup>1</sup>



The work of Alfred Wegener against the theory of expanding Earth. *Prz. Geol.*, 63: 1292–1301.

*Abstract.* Wegener's Pangea comprised all the continents during Permian times, surrounded by the Panthalassa all-ocean, much wider than the recent Pacific. The process of widening of new oceans (Atlantic, Arctic and Indian) during the Pangea breakup should be simultaneous with the shrinking of the pre-Pacific. However, there is much evidence that there are close biogeographic links between continents surrounding the Pacific, and the perimeter of the ocean becomes larger. If the Pacific expands like the other oceans, the Earth expansion is inevitable. The plate-tectonic fundamentals of supercontinent reconstructions refer to the hypothesis of the cyclic evolution of continental plates and to the assumption that plate collisions result in amalgamation of successive supercontinents followed by their break-up. As the result, the term "supercontinental cycle" was introduced. Thus, the Pangea history becomes a sequence of different consecutive Pangeas. Two periods of Precambrian supercontinent amalgamation were distinguished based on the supercontinent cyclicity hypothesis, leading to the formation of Meso-Neoproterozoic Rodinia and the Early Proterozoic Pre-Rodinia supercontinent. Pre-Rodinia, Rodinia and Pangea were strikingly similar to one another. To explain this phenomenon, a process of self-organization of tectonic plates is invoked. On an expanding Earth, there was only one supercontinent – Pangea – composed of continental lithosphere surrounding the planet smaller than the present Earth. The break-up process of the supercontinent occurred only once during Earth's history. Earth expansion offers a reasonable solution to the main plate-tectonic paradox that the continents could have been repeatedly separated and returned to the same unique configuration.

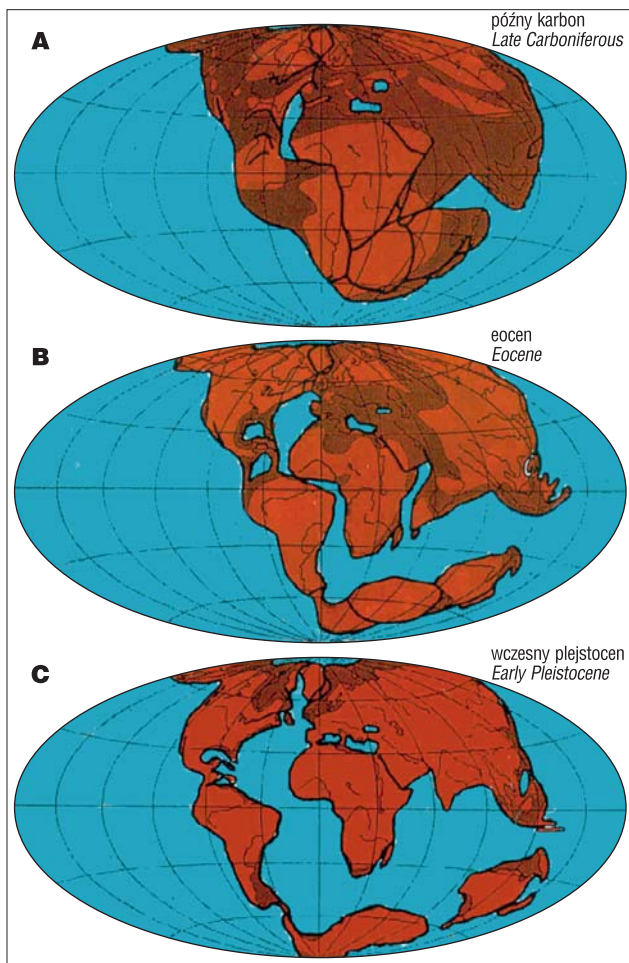
**Keywords:** Wegener, Plate Tectonics, Earth Expansion, Pangea, Pacific, Supercontinents

W bieżącym roku mija 100 lat od momentu opublikowania książki „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane” Alfreda Wegenera, będącej rozszerzoną wersją pierwszej jego pozycji na ten temat z 1912 r. Publikacja Wegenera, stanowiąca najbardziej dojrzałą w owym czasie syntezę geotektoniki globalnej, ukazała się w czasach I wojny światowej, co nie sprzyjało podjęciu szerokiej dyskusji. W latach 20. XX w. pojawiły się nowe, uzupełnione wydania, także w tłumaczeniu na język angielski. Niewątpliwie wegenerowska teoria dryftu kontynentów stała się kijem wrzuconym w mrowisko zwolenników jeszcze XIX-wiecznych idei geotektonicznych, panujących do tego czasu w środowisku badaczy. Rozpoczął się okres gwałtownej niekiedy dyskusji, przy czym charakterystyczny był narastający opór przeciw nowej teorii. Podstawą jej odrzucania był ówczesny stan wiedzy na temat budowy skorupy kontynentalnej, zwanej siałem i oceanicznej – simą. Niebagatelną rolę odgrywał także problem przyczyn fizycznych proponowanego przez Wegenera dryftu. Siły mające uruchamiać kontynenty „płynące” po cięższym, simatycznym podłożu miały, wg Wegenera, wynikać z rotacji planety. Proste stosunkowo obliczenia wykazały, że siły te są zdecydowanie za słabe na przemieszczanie mas kontynentalnych. Brak wyjaśnienia przyczyn procesu stał się powodem odrzucenia idei mobilizmu. Stało się tak nie pierwszy i nie ostatni raz w historii geotektoniki. Mimo to, teoria Wegenera wprowadziła do dyskusji geotektoników nowe spojrzenie – Alfred Wegener był twórcą pojęcia Pangei – Wszechkontynentu, który w permie obejmował wszystkie, zebrane razem kontynenty i zaczął się rozpadać w triasie (ryc. 1). Oczywiście w koncepcji Wegenera Pangei towarzyszył Wszechocean – Panthalassa, opływający ją ze wszystkich stron na Ziemi, o stałych rozmiarach. Z ru-

chem kontynentów wiązał Wegener także deformacje orogeniczne na ich krawędziach. Na przykład ruch kontynentów ku zachodowi (*Westdrift*) miał być odpowiedzialny za fałdowania osadów zgromadzonych przed ich krawędziami i procesy górotwórcze w Andach i Kordylierach. Tym samym o deformacjach górotwórczych miały przesądzać naciski boczne, czyli tangencjalne. Idea ta została odziedziczona po teorii kontrakcji Ziemi z połowy XIX w. (Beaumont, 1852), wg której stopniowe ochładzanie się wnętrza planety doprowadza do deformacji fałdowych i nasunięciowych w zewnętrznej sferze Ziemi, podobnie jak marszczy się skorupka na wysychającym jabłku. Przeciwstawieniem idei kontrakcji był pogląd, że Ziemia nie zmienia swoich wymiarów w toku ewolucji geologicznej. Teoria ta, mająca wielu wybitnych przedstawicieli wśród geotektoników, nie miała jednak konkretnego twórcy. Wykształciła się ona poniekąd samorzutnie w wyniku zachwiania dominującej początkowo pozycji teorii kontrakcji. Idea stałych wymiarów planety łączyła się też w sposób naturalny z jeszcze XIX-wieczną koncepcją aktualizmu geologicznego. Od razu jednak powstało przed badaczami zasadnicze pytanie. Czy stała pod względem wymiarów Ziemia jest również niezmienna pod innymi względami? Czy obserwowane dziś rozmieszczenie kontynentów i oceanów, szczytnych platform i pasm górskich było zawsze takie samo, czy też ulegało zmianom? Poszukiwanie odpowiedzi na te pytania stało się przyczyną powstania dwóch grup teorii geotektonicznych o znacznej samodzielności – stabilistycznych (fiksizm) i mobilistycznych. Obie te grupy są oparte na modelu Ziemi o stałych wymiarach.

Lata 30. ub. wieku były okresem odwrotu od teorii dryftu kontynentów i powrotu do koncepcji stabilistycznych wyznawanych przez większość badaczy. Teorie stabili-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław.



**Ryc. 1.** Pangea Wegenera i jej rozpad. **A** – Pangea Wegenera w górnym karbonie, otoczona ze wszystkich stron przez Wszechocean. **B** – rozpad Pangei – stan w eocenie. Pomiędzy kontynentami rozpadającej się Pangei widoczne zaczątki nowych oceanów. Pacyfik jest oceanem kurczącym się. **C** – stan we wczesnym plejstocenie

**Fig. 1.** Breakup of the Wegener's Pangea. **A** – Wegener's Pangea in the Late Carboniferous, surrounded by the All-ocean Panthalassa. **B** – breakup of the Pangea as in the Eocene. Between continents new oceans begin to open. Pacific is in state of shrinking. **C** – Pangea in Pleistocene

styczne, rozwinięte jeszcze w XIX w., zakładały permanentę, czyli stałość położenia głównych geostruktur w czasie ich ewolucji geologicznej. Tym samym rozpatrywały Ziemię jako układ, w którym o zmiennościach paleogeograficznych, klimatycznych, migracjach flory i fauny itp. decydowały ruchy pionowe poszczególnych fragmentów skorupy ziemskiej. Stwierdzane powszechnie migracje flory i fauny między poszczególnymi kontynentami w przeszłości geologicznej były natomiast tłumaczone przez zwolenników teorii stabilistycznych za pomocą tzw. hipotezy pomostowej. Przyjmowała ona istnienie w różnych okresach lądowych połączeń między poszczególnymi kontynentami, umożliwiających wędrówki organizmów. Pomosty te miały następnie ulegać pogrążaniu w wodach oceanów. Koncepcje takie zostały odrzucone już w XX w. na podstawie prawa izostazji.

Naturalnym następstwem wspomnianych założeń był rozwój nowych koncepcji orogenicznych tzw. górotwórczości pionowej. Jeśli bowiem kontynenty oraz sztywne

platformy stanowiące masy oporowe w ich obrębie są strukturami nieruchomymi, nie mogą wywierać nacisków poziomych na sąsiadujące z nimi baseny sedymentacyjne i wywoływać ich fałdowań, wypiętrzeń i przekształceń w łańcuchy górskie. Odrzucając hipotezy poziomych nacisków tektonicznych, szukano dowodów na decydującą rolę ruchów pionowych w powstawaniu gór fałdowych. W latach 30. XX w. powstało wiele teorii pionowych ruchów górotwórczych i fałdowań grawitacyjnych. Jedną z najbardziej znanych była teoria oscylacyjna niemieckiego tektonika Haarmanna (1930), według którego fałdowania są efektem grawitacyjnego spływania mas skalnych ze zboczy wielkich wypiętrzeń powierzchni Ziemi, tzw. geotumorów w stronę geodepresji. Same geotumory natomiast stanowią według niego powierzchniowy efekt pionowych przemieszczeń mas w głębi Ziemi. Ruchy pionowe wywołują wtórne ruchy poziome. Był to pogląd, który znajduje wielu naśladowców dzisiaj, także wśród tektoników płytowych. Nie ulega bowiem wątpliwości, że tektonika grawitacyjna odgrywa niezwykle ważną rolę w procesach tektogenezy (zob. De Jong & Scholten, 1973). Nawet w klasycznych, tektoniczno-płytowych interpretacjach procesów w orogenach typu kordylierskiego (np. Dewey & Bird, 1970) procesy grawitacyjnej tektoniki na zboczach mobilnego jądra orogenu decydują o jego strukturze.

Mimo długiego okresu, w którym dominowała idea stabilistyczna, wiele poglądów Alfreda Wegenera odżyło 40 lat później w nowej odsłonie teorii mobilistycznych. Zwrot w kierunku neomobilizmu był wywołany przez nowe metody badawcze oparte na analizie zmian pola magnetycznego Ziemi w przeszłości geologicznej oraz odkrycia dokonane na dnach oceanów za pomocą nowoczesnych echosond, które umożliwiły odtworzenie ich reliefu na wielkich obszarach.

W połowie lat 50. XX w. pojawiły się nowe metody badań paleomagnetycznych. Umożliwiły one określanie położenia różnych fragmentów skorupy ziemskiej w stosunku do paleobiegunów Ziemi w przeszłości geologicznej. Oczywiście, podstawą takiej interpretacji jest założenie, że bieguny paleomagnetyczne pokrywały się w historii Ziemi z jej biegunami geograficznymi lub były im bliskie. Uzyskiwane przez paleomagnetyków dane o wędrówce biegunów ziemskich wynikają z przemieszczeń poszczególnych fragmentów skorupy w stosunku do biegunów magnetycznych planety. Wyniki tych badań potwierdziły zdecydowanie poglądy Wegenera. Okazało się, że przed powstaniem Atlantyku, jeszcze w triasie Ameryka była zrosnięta z Eurazją i Afryką. Geotektonika po raz pierwszy uzyskała możliwość ilościowej oceny szybkości procesów tektonicznych. Teorie stabilistyczne znalazły się w defensywie.

Od początku przed zwolennikami teorii mobilistycznych stało pytanie o przyczynę przemieszczeń kontynentów. Jak już o tym wspomniano, interpretacja Wegenera okazała się nie do przyjęcia. Gotowe rozwiązanie w postaci idei podskorupowych prądów konwekcyjnych Ampferera zostało opublikowane w 1906 r. Minęło jednak sporo czasu zanim mobilisci przejęli tę ideę. Hipoteza Ampferera w latach 30. ub. wieku została podjęta i rozwinięta przez Holmesa (1931) i innych geotektoników w postaci koncepcji prądów konwekcyjnych, działających w górnym płaszczu

Ziemi wskutek nierównomiernego rozkładu temperatur i stanowiących motor napędowy ruchu kontynentów. W rejonach leżących ponad „podnoszącymi się gałęziami” prądów konwekcyjnych następuje wypiętrzanie, a następnie pęknięcie i rozsuwanie się skorupy ziemskiej, natomiast w rejonach zstępowania tych prądów dochodzi do zderzeń, deformacji i fałdowań. A więc teorie konwekcyjne w odniesieniu do zjawisk górotwórczości należą do grupy teorii nacisków poziomych; ruchy poziome, według ich zwolenników, wywołują wtórne ruchy pionowe.

Na przełomie lat 50. i 60. XX w. badania morfologii den oceanów (Bruca Heezena, Mary Tharp) doprowadziły do odkrycia globalnego, tensyjnego systemu grzbietów śródoceanicznych z systemem ryftów w osiach tych struktur. Geotektonika znalazła się na drodze prowadzącej bezpośrednio do teorii rozprzestrzeniania się den oceanicznych (*ocean-floor spreading*) oraz nowej tektoniki globalnej, czyli tzw. tektoniki płyt litosfery. Podstawą, na której zbudowano tę teorię, były wyniki badań den oceanicznych oraz stref krawędziowych kontynentów. Szczegółem prowadzącym do teorii tektoniki płyt była koncepcja rozprzestrzeniania się den oceanicznych sformułowana w latach 1961–1962 przez amerykańskich badaczy Dietza (1961) i Hessa (1962). Ich hipoteza uzyskała z czasem potwierdzenie dzięki rozwojowi badań paleomagnetycznych, geochemicznych oraz specjalnie zaprojektowanym wierceniom w dnach mórz i oceanów. Dała także z czasem możliwość wręcz matematycznej oceny przebiegu i skutków procesu „spreadingu”, stając się pod tym względem pierwszą w historii geotektoniki teorią naukową. Okazało się, że w centralnych partiach grzbietów śródoceanicznych, tworzących globalny system ryftowy, stale powstaje nowa litosfera, która rozszerzając się stopniowo na boki, daje miejsce dla nowych jej partii. Powstała w ten sposób skorupa oceaniczna, zbudowana w górnej warstwie z bazaltów, wykazuje symetryczny względem osi grzbietu wzrost wieku w miarę oddalania się od niego. Metody określania wieku skorupy oceanicznej, oparte m.in. na pomiarach kierunków namagnesowania budujących ją bazaltów, umożliwiły określenie szybkości tego procesu – zachodzi on w różnych grzbietach śródoceanicznych z szybkością od 2–3 do nawet 5–10 cm na rok. Wszystkie oceany okazały się strukturami młodymi, mezozoicznymi-kenozoicznymi i daleko im pod tym względem do prekambryjskich platform kontynentalnych. Cały, ogromny, obejmujący ponad 2/3 powierzchni Ziemi, obszar oceanów utworzył się w ciągu ostatnich 200 milionów lat.

Najstarsze części den oceanów to stosunkowo niewielkie płyty skał górnej jury (180–150 mln lat), przylegające do dzisiejszych wybrzeży Ameryki Północnej, Afryki Zachodniej oraz w centralnej części Pacyfiku i przy brzegach Oceanu Indyjskiego. Utwory budujące skorupę oceanów w kredzie zajmują znacznie większe powierzchnie i są ułożone na zewnątrz pasów skorupy powstałych w erze kenozoicznej (65 mln lat do dziś).

Obecnie proces rozrastania się oceanów przebiega wzdłuż systemu podwodnych grzbietów śródoceanicznych o łącznej długości 40 000 km. Polega on na wdzieraniu się magm o składzie bazaltów do osi dolin ryftowych stanowiących miejsca, w których skorupa oceaniczna ulega pękaniu i rozciąganiu.

Moment sformułowania idei rozrastania się (*spreadingu*) den oceanów był kluczowy dla przyszłości współczesnej geotektoniki. Wymienione powyżej fakty mogą bowiem wskazywać na ekspansję Ziemi jako planety. Pojawiły się wówczas pierwsze publikacje nawiązujące do wcześniejszych prac prekursorów tej teorii (Jarkowski, 1888; Lindemann, 1927; Hilgenberg, 1933), wskazujące na ekspansję przejawiającą się *spreadingiem* den oceanów (Carey, 1959; Heezen, 1960). Heezen, jeden z odkrywców struktury tektonicznej oceanów, był zwolennikiem teorii ekspansji (cyt. Heezen, 1960: „Obecnie sugeruję, że Ziemia ani się nie kurczy, ani nie pozostaje tych samych rozmiarów, lecz w istocie ekspanduje”).

Zwyciężył jednak pogląd stanowiący nawiązanie do dryftu kontynentów Wegenera – czyli tektonika płyt zakładająca stałe wymiary Ziemi. Przyczyny odrzucenia teorii ekspansji przez większość środowiska geotektoników są wyjaśnione w wypowiedziach głównych twórców teorii *spreadingu* i tektoniki płyt. Hess (1962) tak odniósł się do argumentów Careya: „Przy pomocy tej koncepcji (ekspansji Ziemi – przyp. autora) udaje się wyjaśnić obserwowany dziś deficyt osadów, wulkanów i starych grzbietów oceanicznych. Chociaż pozwoliłoby to pokonać wszystkie poważne trudności w rozszyfrowaniu ewolucji basenów oceanicznych, nie decyduję się pójść tą łatwą drogą”.

Dietz (1961) natomiast napisał: „Analiza tektoniczna Careya zakłada 12-krotne zwiększenie objętości Ziemi. Koncepcja *spreadingu* den oceanicznych jest w tym sensie mniej radykalna, ponieważ zgodnie z nią objętość Ziemi się nie zmienia”. Wreszcie Le Pichon (1968) napisał: „Jeśli Ziemia nie ekspanduje, muszą istnieć inne granice bloków skorupowych, wzdłuż których następuje skracanie i niszczenie skorupy”. Tego typu argumenty „naukowe” zdecydowały o sformułowaniu „nowej” tektoniki globalnej. Trzeba o tym pamiętać, obserwując historię jej rozwoju. Z tego punktu widzenia tektonika płyt jest po prostu hipotezą Ziemi nieekspandującej i nowoczesną kontynuacją teorii Alfreda Wegenera.

Zwolennicy tektoniki płyt uważają, że ruch kontynentów polega na ich przesuwaniu się po plastycznym podłożu astenosferycznym w płaszczu Ziemi, co prowadzi do ich oddalania się lub zbliżania oraz zderzeń. W takim modelu narastająca w oceanach nowa skorupa musi być pochłaniana w innych strefach, tzw. subdukcji, kompensując wzrastanie wymiarów Ziemi (patrz Le Pichon *op.cit.*). Jeśli jednak proces rozszerzania się oceanów jest jednokierunkowym procesem globalnym – a nie istnieje jego kompensacja – wówczas Ziemia zwiększa swoje wymiary. W takim modelu, zwanym tektoniką Ziemi ekspandującej, kontynenty są trwale związane ze swoim głębokim podłożem i ulegają rozsuwaniu się w miarę narastania między nimi nowych basenów oceanicznych. Takie rozsuwanie się nie wyklucza pozornej rotacji poszczególnych fragmentów kontynentów w związku z otwieraniem się nowych basenów oceanicznych oraz ze zmniejszaniem się krzywizny ekspandującej planety. Mało znany jest jednak fakt, że wykres obrazujący powierzchnię litosfery oceanicznej, która powstała w danym okresie czasu geologicznego, ma charakter wykładniczy, a powierzchnia ta przeliczona na promień Ziemi wskazuje na przyspieszającą w czasie ekspansję planety (Koziar, 1985; Maxlow, 2001, 2005; Cwoj-

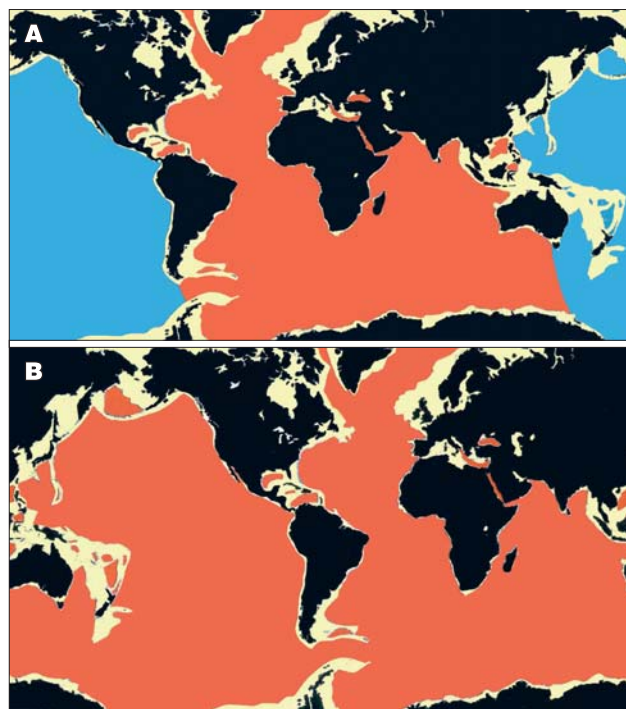
dziński, 2003). Tego obiektywnego faktu nie tłumaczy tektonika płyt.

Dlaczego jednak teoria Wegenera stała się ważna także dla ekspansjonistów?

### PACYFIK – OCEAN SZCZEGÓLNEJ TROSKI

Wegener był pierwszym, który zwrócił uwagę na znaczenie oceanów w ewolucji geologicznej Ziemi. Mezo-kenozoiczny rozpad Pangei, czyli Wszechkontynentu, doprowadził według niego do powstania Atlantyku, Oceanu Indyjskiego i Lodowatego, natomiast Pacyfik w tej koncepcji miał być oceanem znacznie starszym – reliktem oceanu Panthalassa, Wszechoceanu opływającego niegdyś Pangeę, który musiał być oczywiście znacznie większy od współczesnego Pacyfiku. Stwierdzenie młodego wieku Pacyfiku, który powstał równoległe z innymi oceanami Ziemi, jest dla ekspansjonistów prostym dowodem rozszerzania się Ziemi (ryc. 2). Natomiast tektonicy płytowi w celu zachowania niezmiennych rozmiarów planety przyjęli, że nowotworzona w grzbietach śródpacyficznych litosfera oceaniczna ulega zniszczeniu w okołopacyficznych strefach subdukcji. W tej interpretacji Pacyfik jest oceanem kurczącym się, w przeciwieństwie do innych, które się rozrastają. Jeśli więc także Pacyfik zwiększa swoje rozmiary ekspansja planety jest nie do uniknięcia. Tym samym Pacyfik jest kluczem do zrozumienia historii geologicznej Ziemi.

Typowy dla Pacyfiku jest asymetryczny rozrost jego skorupy (ryc. 3) oraz obecność wokół niego nachylonych pod kontynenty wielkich, sejsmicznych stref rozłamowych związanych z procesem subdukcji. Tektoniczno-płytaowa interpretacja ewolucji Pacyfiku zakłada, że od późnej jury w centrum oceanu zaczęła rozrastać się radialnie nowa skorupa oceaniczna, spychając starszą, przedjurajską skorupę ku strefom subdukcji, gdzie uległa ona zniszczeniu. Tym samym tektoniczno-płytaowa interpretacja ewolucji Pacyfiku jest kontynuacją teorii dryftu Wegenera. Według takiej interpretacji kontynenty otaczające dziś Pacyfik nigdy nie znajdowały się w bezpośrednim kontakcie i stanowią „odrebne światy”. Tymczasem ewidentne są transpacyficzne powiązania paleobiogeograficzne. Podobieństwo faun i flor występujących na wschodnich wybrzeżach Azji i Australii, na Nowej Zelandii, w Patagonii i na zachodnich wybrzeżach obu Ameryk umożliwia wyznaczenie transpacyficznych ścieżek biogeograficznych (ryc. 4). Wyznacza się je na podstawie rozprzestrzenia organizmów o bardzo ograniczonych możliwościach przenoszenia się na duże odległości, np. ramienionogów, niektórych gatunków trylobitów i owadów, a także zespołów roślin. Tektonicy płytowi próbują wyjaśnić te powiązania biogeograficzne szybką wędrówką terranów, na których organizmy wędrowały jak na „pływających wyspach”. Z wielu względów są to sztuczne konstrukcje. Próbowano także dokonać zamknięcia północnego Pacyfiku wzdłuż krawędzi kontynentów Azji i Ameryki Północnej, pozostawiając miejsce na Prapacyfik po wschodniej stronie pasa Kordylierów (Hughes, 1975). Istnieje jednak prostsza interpretacja faktów. Powiązania paleobiogeograficzne przez Pacyfik mogą być tłumaczone przez całkowite „zamknięcie” Pacyfiku otaczającymi kontynentami. Tym samym staje się on takim samym oceanem jak pozostałe. Bliższa analiza kształtu



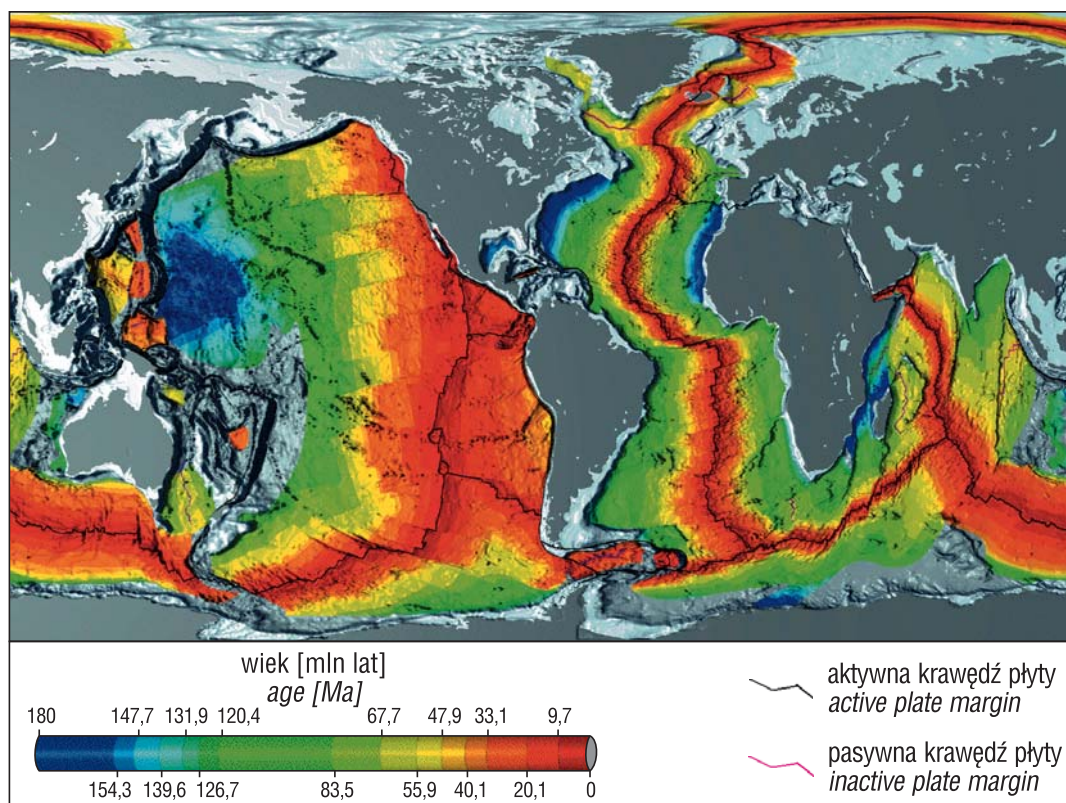
**Ryc. 2.** Wiekowy podział oceanów (schemat wg Jana Koziara). **A** – schemat obrazujący wiek oceanów wg modelu Wegenera, Pacyfik (kolor niebieski) jest oceanem „starym”, młode oceany (kolor czerwony) powstałe w wyniku rozpadu Pangei. **B** – rzeczywisty rozkład wieku oceanów – wszystkie powstały w okresie około 200 mln lat do dziś

**Fig. 2.** Age of the oceanic floor (schemes by Jan Koziar). **A** – diagram showing the age of oceans according to Wegener’s model, Pacific is an old ocean (blue colour), younger oceans formed due to breakup of the Pangea (red colour). **B** – real age of oceans formed during last 200 Ma

i budowy geologicznej kontynentów okołopacyficznych pozwala na dokonanie takich rekonstrukcji (Barnett, 1962; Broeske, 1962; Creer, 1965; Vogel, 1983; Koziar, 1991, 1994; Maxlow, 2005), w których obszar Pacyfiku jest całkowicie „zamknięty” przez otaczające kontynenty tworzące Pangeę na Ziemi o promieniu 60% współczesnego (ryc. 5). Obserwowany rozrost perymetru (koła wielkiego) Pacyfiku także wskazuje na powiększanie się powierzchni tego oceanu (Koziar, 1992) (ryc. 6). Tak więc ekspansjonistyczna interpretacja pozycji geotektonicznej Pacyfiku nawiązuje, choć tylko pośrednio, do teorii dryftu Alfreda Wegenera.

### SUPERKONTYNENTY – CZY PANGEA BYŁA JEDYNA ?

Pojęcie superkontynentu, według dzisiejszego jego rozumienia, wprowadził do geologii Alfred Wegener w 1915 r. Pangea Wegenera (Pangea – gre. cała Ziemia) obejmowała w permie wszystkie kontynenty, tworząc superkontynent, który od triasu ulegał stopniowemu rozpadowi. Pangea otoczona była ze wszystkich stron Wszechoceanem (Panthalassa), który musiał być oczywiście znacznie większy od współczesnego Pacyfiku. Koncepcja Pangei została zaadoptowana dla tektoniki płyt przez Dietza i Holdena (1970). Różnica w obu rekonstrukcjach polegała na pozycji Dekanu, który na Pangei Wegenera był przyrośnięty do Azji, a na mapie Dietza i Holdena,



**Ryc. 3.** Asymetryczny rozrost Pacyfiku. Rozkład litosfery oceanicznej od górnej jury przez kredę po kenozoik wyraźnie obrazuje asymetryczny rozrost oceanu, którego najstarsza część przylega do łuków wyspowych wschodniej Azji, a od kontynentu jest oddzielona strefą młodych, kenozoicznych małych basenów oceanicznych. Najmłodsza część Pacyfiku kontaktuje z kontynentami obu Ameryk, a grzbiet oceaniczny „wsuwa się” pod Amerykę Północną

**Fig. 3.** Asymmetric growth of the Pacific. Distribution of the oceanic lithosphere from the Late Jurassic through Cretaceous to Cenozoic clearly shows asymmetric expansion of the ocean whose oldest part is adjacent to the East Asia island arcs and separated from mainland by young small oceanic basins. The youngest part of the Pacific contacts with the Americas continents and oceanic ridge “slides” under North America

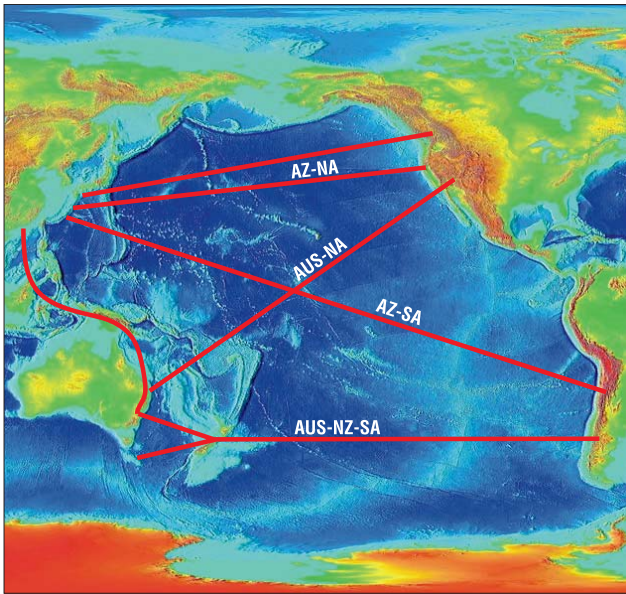
uwzględniającej dane paleomagnetyczne, od Azji oddzielał go szeroki paleoocean Tetydy. Przyjęte na rekonstrukcji superkontynentu Pangei rozmieszczenie kontynentów wskazywało na ich koncentrację w dwóch, rozdzielonych przez Tetydę, podrzędnych superkontynentach: Laurazji (Ameryka Północna, Grenlandia i Eurazja) oraz Gondwany (Ameryka Południowa, Afryka, Madagaskar, Indie, Antraktyda, Australia). Tektoniczno-płytowy cykl Wilsona, zakładający następujące po sobie fazy amalgamacji i rozpadu kontynentów, stał się podstawą szeroko przyjmowanego poglądu, że w przeszłości geologicznej Ziemi musiały istnieć inne, starsze superkontynenty (Piper, 1982; Anderson, 1983;). Wprowadzono pojęcie cyklu superkontynentalnego (Fischer, 1974). Za pierwszy, starszy od Pangei, superkontynent uznano Rodinię – długotrwały superkontynent proterozoiczny (powstały w okresie 2,0–1,8 Ga), którego pierwsze rekonstrukcje dali Dalziel (1991) i Moores (1991). W latach 90. ub. wieku Rodinia stała się dominującym tematem prac dotyczących superkontynentów. W ostatnich latach natomiast powstały liczne rekonstrukcje następnych, jeszcze starszych superkontynentów prekambryjskich.

Tektoniczno-płytowe podstawy odtwarzania superkontynentów to: hipoteza cyklicznej ewolucji płyt kontynentalnych (cykl Wilsona) oraz założenie, iż kolizje płyt prowadzą do amalgamacji kolejnych superkontynentów.

W historii geologicznej Ziemi istnieć musiało zatem kilka superkontynentów, które były wynikiem globalnego procesu akrecji i amalgamacji płyt i towarzyszących im orogenez.

Po fazie amalgamacji następuje faza rozpadu superkontynentów. Rozpad i dryft kontynentów wywołują powstawanie nowych granic konwergencyjnych (stref subdukcji) i aktywnych krawędzi kontynentów. Wyjaśnienie genezy przyjmowanej cykliczności ewolucji kontynentów nie jest proste. Globalny i cykliczny charakter procesu musi być wyjaśniany poprzez proces głębokiej reorganizacji wewnętrznej geodynamiki Ziemi. Nie wystarcza tu górnośląszczowy system prądów konwekcyjnych. Istnieje dziś wiele hipotez próbujących wyjaśnić to zjawisko.

Metody rekonstrukcji superkontynentów są oparte na badaniach paleomagnetycznych. Polegają one na porównawczej analizie tzw. APWP (ścieżek pozornej wędrówki biegunów) określanych dla poszczególnych płyt kontynentalnych w poszczególnych odcinkach czasu geologicznego. Badania paleomagnetyczne dają dwa typy informacji: kierunek na biegun paleomagnetyczny – jest to deklinacja magnetyczna (orientacja w stosunku do paleobieguna magnetycznego) oraz paleoszerokość magnetyczną (geograficzną) – tzw. inklinację magnetyczną. Wyniki takie są prawidłowe przy założeniu dipolowego charakteru pola magnetycznego Ziemi. Jednak wiele APWP dla określonych



**Ryc. 4.** Główne paleobiogeograficzne powiązania między kontynentami otaczającymi Pacyfik. Stwierdzone powiązania paleobiogeograficzne poprzez współczesny Pacyfik: AZ–NA: Azja – Ameryka Północna, AUS–NA: Australia – Ameryka Północna, AZ–SA: Azja – Ameryka Południowa, AUS–NZ–SA: Australia – Nowa Zelandia – Ameryka Południowa

**Fig. 4.** Main paleobiogeographic routes between continents surrounded recent Pacific. Observed paleobiogeographical links through recent Pacific: AZ–NA: Asia – North America, AUS–NA: Australia – North America, AZ–SA: Asia – South America, AUS–NZ–SA: Australia – New Zealand – South America

odcinków czasu geologicznego, zwłaszcza w prekambrze, jest słabo zdefiniowanych. Istnieje także możliwość, że pole magnetyczne Ziemi ma charakter niedipolowy, a pętlowaty wygląd APWP sugeruje możliwość nagłej zmiany położenia biegunów magnetycznych (TPW – *true polar wander*) w efekcie procesów zachodzących w głębokim płaszczu Ziemi. Gdyby nie przyjmować możliwości TPW, ruchy płyt obliczane na podstawie APWP dla proterozoiku i paleozoiku byłyby o rząd wielkości szybsze niż w mezozoiku (Evans, 2003).

Wszelkie rekonstrukcje położenia kontynentów oparte na danych paleomagnetycznych nie dają informacji o paleodługości geograficznej, rekonstrukcje te są pod tym względem całkowicie dowolne. Wyniki pomiarów paleomagnetycznych są interpretowane na Ziemi o współczesnych rozmiarach (zasada Blinowa). W wyniku takiego postępowania uzyskiwane są często drastycznie różniące się rekonstrukcje położenia poszczególnych płyt i mikropląt kontynentalnych. Niektóre zaprzeczają wręcz wszelkiej logice i są oderwane od rzeczywistości geologicznej. Rekonstrukcje takie nie mają także wiele wspólnego z jakimkolwiek logicznym mechanizmem przyjmowanego ruchu płyt (systemu prądów konwekcyjnych).

Metodą pomocniczą w stosunku do badań paleomagnetycznych są korelacje geologiczno-wiekowe. Korelacja struktur geologicznych różnego typu, różnej genezy i wieku ułatwia rekonstrukcję wzajemnego położenia kontynentów w obrębie superkontynentów. Dobre wyniki dają korelacja wieku cokołów krystalicznych kratonów prekambryjskich (w przypadku kratonów archaicznych ich korelacja jest utrudniona, ponieważ są one otoczone przez

pasy, w obrębie których doszło do odmłodzenia struktur archaicznych i ich zatarcia), korelacja struktur pasm orogenicznych określonego wieku, a także wiekowa i geochemiczna korelacja kompleksów magmowych i paleogeograficzno-paleoklimatyczna kompleksów osadowych basenów sedymentacyjnych. Metoda korelacji jest uważana za podrzędną i uzupełniającą w stosunku do metody paleomagnetycznej.

„Jeśli nie znajdujemy akceptowalnej korelacji geologicznej utrzymujemy kontynenty w separacji” (Pesonen i in., 2003).

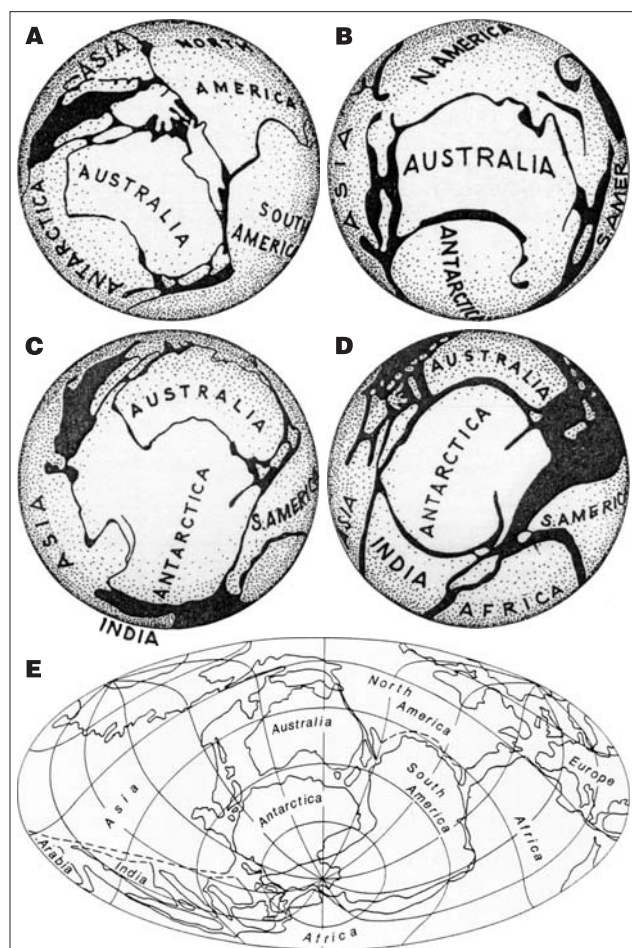
Metoda paleobiogeograficzna jest oparta na analizie geograficznego rozprzestrzenienia paleofauny i flory. Daje ona informacje o strefowości paleoklimatycznej – co pozwala nawiązywać i weryfikować dane paleomagnetyczne o szerokościach geograficznych, o czasowej izolacji obszarów, które odznaczają się zróżnicowaniem (endemicznością) fauny i flory, podlegających powolnemu rozprzestrzenianiu się. Badania paleobiogeograficzne są powszechnie stosowane dla potwierdzania wzajemnego położenia płyt kontynentalnych i wędrówek tzw. terranów. Nie dają one jednak możliwości określania paleodługości geograficznych (podobnie jak paleomagnetyka), a tym samym odtwarzania tras przemieszczeń płyt i mikropląt. Rekonstrukcje paleobiogeograficzne odgrywają dziś rolę pomocniczą w stosunku do panującego paradygmatu tektoniki płyt. Zakłada się w nich współczesne wymiary Ziemi i podobną strefowość klimatyczną (liczne są przykłady odstępstw od tego schematu, np. hipoteza *snow ball Earth*). Zakłada się barierową rolę paleoceanów, nie biorąc pod uwagę podobnej roli szerokich mórz epikontynentalnych.

Pangea (Wszzechziemia) Wegenera została zinterpretowana podstawie zarysu krawędzi kontynentów oraz danych geologicznych (kontynuacja struktur geologicznych kontynentów wokółatlantyckich) i paleogeograficznych (Karoo, *Glossopteris*). Tektoniczno-płytowa rekonstrukcja Dietza i Holdena (1972) bierze pod uwagę dane dotyczące mezozoicznego rozrostu oceanów.

Permska Pangea jest wynikiem przyjmowanej przez tektonikę płyt amalgamacji płyt i mikropląt kontynentalnych powstałych w wyniku rozpadu Rodinii zachodzącej w paleozoiku. W dolnym paleozoiku ukształtował się superkontynent Gondwany obejmujący Amerykę Południową, Afrykę, Dekan, Antarktydę i Australię. Niezależnie ewaluować miały kontynenty Laurazji, Bałtyki i Syberii. W wyniku kolizji kaledońskiej i zamknięcia paleoceanu Japetus miał powstać kontynent Laurusii (Mason, 1988).

W górnym paleozoiku (karbon–perm) miał zostać utworzony superkontynent Pangea złożony z dwóch kontynentów: Gondwany i Laurazji (w efekcie orogenezy waryscyjskiej/allegeńskiej) rozdzielonych trójkątnym w zarysie oceanem Prototetydy. Rozpad Pangei rozpoczyna się od środkowego triasu do późnej jury i trwa do dziś. Jest to w rzeczywistości jedyna udowodniona faza cyklu Wilsona.

Badania paleobiogeograficzne wykazały m.in. następujące powiązania biogeograficzne: dewońskie połączenia (Thelodonta – ryby słodkowodne) – Chiny południowe, Tajlandia, Australia, Ameryka Północna, Niemcy (Long & Burret, 1989); górnego triasu–dolnej jury wokół Pacyfiku (płytkowodna fauna bentos – ramienionogi – Ager, 1986); inne mezozoiczne powiązania przez-pacyficzne (np. dinozaury – Shields, 1979); permo-karbońska flora *Glossopteris*



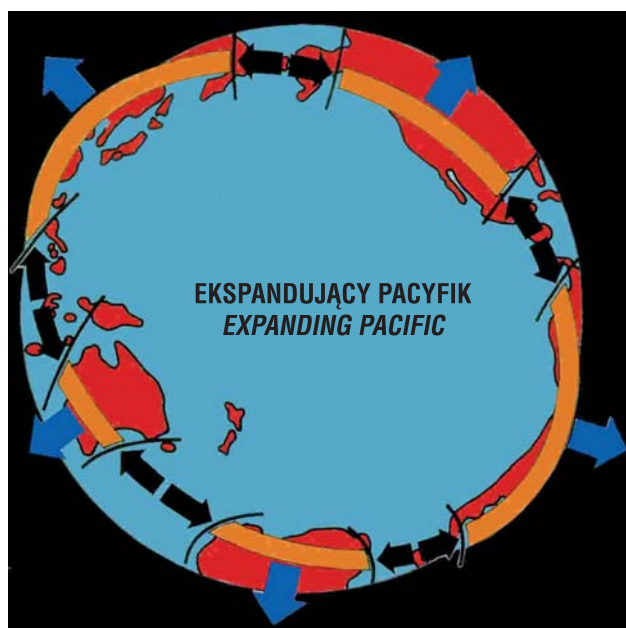
**Ryc. 5.** Zamknięcie obszaru Pacyfiku wg różnych interpretacji opartych na tektonice ekspansji Ziemi. **A i C** – rekonstrukcja Broesskego (1962), **B** – rekonstrukcja Barnetta (1962), **D** – rekonstrukcja Vogla (1983). **E** – interpretacja Creera (1965). Schematy zostały opracowane przez J. Koziaara (1991)

**Fig. 5.** Closing of the Pacific area based on Earth expansion tectonics after different authors. **A i C** – Broesske (1962) reconstruction, **B** – Barnett's (1969) reconstruction, **D** – interpretation of Vogel (1983). **E** – Creer's interpretation (1962). Schemes prepared by J. Koziaar (1991)

i twory permo-karbońskiego zlodowacenia typowe dla Gondwany, ale stwierdzone także w Himalajach, Kaszmirze, Tybecie, Arabii, Chinach, Malajach, Tajlandii i Birmie; brak endemicznego charakteru fauny Dekanu w czasie jego zakładanej samotnej wędrówki przez paleocean Tetydy od Gondwany ku północy, trwającej około 100 Ma (Bardhan i in., 2002). W obrębie Dekanu dominują w tym czasie mieszane zespoły fauny lądowej i flory pochodzenia gondwańskiego i laurazyjskiego. Chatterije & Hotton (1987) doszli do następującego wniosku: Indie nigdy nie leżały daleko od Azji.

Tektoniczno- płytowa koncepcja przenoszenia gatunków na „pływających wyspach” (terranach) poprzez paleocean jest nie tylko sztuczna, ale trudna do przyjęcia z powodu m.in. braku endemiczności fauny i flory, ich dryft musiałby być bardzo szybki.

Opierając się na hipotezie cykliczności superkontynentalnej, wydzielono dwa okresy formowania się superkontynentów w prekambrze (Condie, 1998, 2001): mezo-neoproterozoiczną Rodinię (Buchan i in., 2001) i wczesnopro-



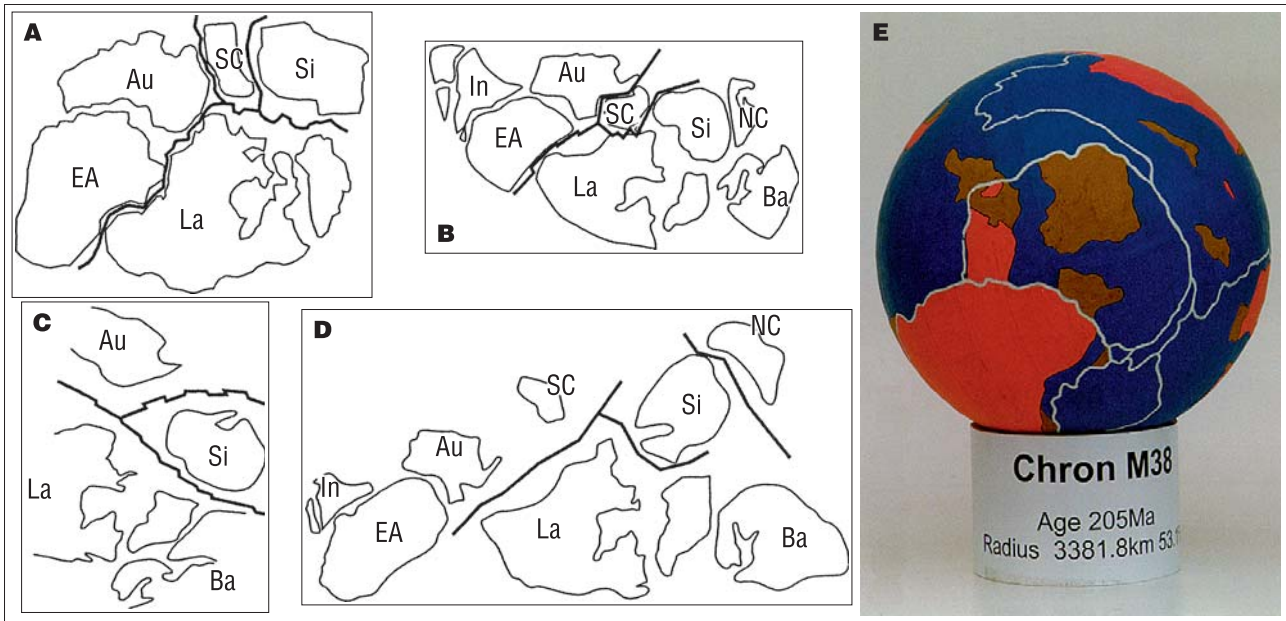
**Ryc. 6.** Współczesny wzrost długości perimetru Pacyfiku (paradoks Careya). Obwód (perimetr) współczesnego Pacyfiku tworzy koło wielkie. Między kontynentami otaczającymi Pacyfik ewidentne są strefy rozciągania dokumentowane przez strefy ryftów oceanicznych (między Australią i Antarktydą oraz Antarktydą i Południową Ameryką), młode, rozrastające się małe baseny oceaniczne (między Australią i Azją, między obu Amerykami i między Azją a Ameryką Północną – basen Morza Beringa). Schemat Jana Koziaara (1992) ilustruje tzw. paradoks Careya. Jak to wykazał Koziaar wzrost perimetru Pacyfiku jest ewidentny jeśli się bierze pod uwagę jedynie trzy z wymienionych stref. Pacyfik nie jest oceanem kurczącym się

**Fig. 6.** Contemporary growth of the Pacific perimeter (Carey's paradox). Perimeter of the modern Pacific creates a great circle. Between continents surrounding the ocean evident are zones of stretching: oceanic rift between Australia and Antarctica, and between South America and Antarctica, small growing oceanic basins between South and North America, North America and Asia (Bering Sea) and between Australia and Asia. Jan Koziaar's diagram illustrates so called Carey paradox. As it is shown by Koziaar increasing of Pacific perimeter is evident if one takes into account only 3 of these zones. Pacific ocean is not shrinking.

terozoiczny superkontynent Prerodinii: 2150– 1650 Ma (Luepke & Lyons, 2001); rozpad tego ostatniego, dokumentowany przez magmatyzm anorogeniczny, miał nastąpić w okresie 1500–1300 Ma.

Superkontynent Rodinia miał powstać w wyniku amalgamacji o wieku 1320–1000 Ma w efekcie orogenezy grenwilskiej. Został on zrekonstruowany na podstawie danych paleomagnetycznych i, podrzędnie, geologicznych (Dalziel, 1991; Moores, 1991) (ryc. 7). Według Windleya (1995) superkontynent ten był stabilny i tektonicznie spokojny.

Paleo-mezoproterozoiczny superkontynent Columbii istnieć miał przed sformowaniem się Rodinii. Jego powstanie jest związane z orogenezą 2,1–1,8 Ga (Hudsonian, Svekokarelian) (Zhao i in., 2002; Hou i in., 2008). Columbia (Prerodinia) obejmowała wszystkie kratony Ziemi (ryc. 8). W okresie 1,8–1,3 Ga miała miejsce długotrwała aktywność magmowa w obrębie pasów mobilnych związanych z krawędziowymi partiami kratonów archaicznych. Początek fragmentacji Columbii miał miejsce około 1,6 Ga, na co wskazują: ryfting kontynentalny i anorogeniczny



**Ryc. 7.** Rekonstrukcje Rodinii wg różnych interpretacji: **A** – Maruyama (1994), **B** – Li & Powell (2001), **C** – Dobretsov (2002), **D** – Condie (2003). Na rysunku górnym zwraca uwagę wzajemne położenie kontynentów zwłaszcza na obszarze dzisiejszego Pacyfiku. Do obecnie zachodnich wybrzeży Laurentii (La) przylegają kontynenty Australii (Au) i Antarktydy (EA), od wschodu – Bałtyki (Ba), a od północy Syberii (Si). Taki obraz wykazuje ogromne podobieństwo do rekonstrukcji zamknięcia tego oceanu na Ziemi o mniejszych wymiarach o wieku 205 mln lat – model Maxlowa (**E**)

**Fig. 7.** Rodinia reconstruction according to different interpretations: **A** – Maruyama (1994), **B** – Li & Powell (2001), **C** – Dobretsov (2002), **D** – Condie (2003). On the upper scheme relative position of continents especially in the area of present Pacific draws attention. To present west coasts of North America (Laurentia – La) adjoin Australia (Au) and Antarctica (EA), from the east – Baltica (Ba), and from the north – Siberia (Si). This picture shows a great similarity to reconstruction on the expanding Earth's model for 205 Ma by Maxlow (**E**)

magmatyzm. Końcowy rozpad jest datowany na 1,3–1,2 Ga na podstawie wieku rójów dajek maficznych.

Zwracają uwagę pewne cechy rekonstrukcji paleogeograficznych tych superkontynentów: Syberia umieszczona jest naprzeciw północnej Laurentii (Condie & Rosen, 1994), Australia i Antarktyda przylegają do zachodnich wybrzeży Ameryki Północnej, długotrwałe jest także połączenie Laurentii i Bałtyki – zagadkowe jest, dlaczego to połączenia przetrwały jeden lub nawet dwa cykle Wilsona: rozpad środkowo-proterozoicznego superkontynentu, następnie amalgamację Rodinii aż do jej rozpadu 650–600 Ma. Ponowny kontakt (*suturing*) Laurazji i Bałtyki miał nastąpić w czasie orogenezy kaledońskiej. Bleeker (2003) komentuje to następująco: „Bałtyka w jakiś sposób wróciła do swojej pozycji sprzed rozpadu superkontynentu”.

Nierozwiązany problem geologii prekambru jest związany z zagadnieniem tworzenia przez archaiczne jądra kratonów ciągłych obszarów kontynentalnych (dziś zachowanych jest 35 fragmentów kratonów archaicznych) (Bleeker, 2003). Postępy rozpoznania geochronologicznego i paleomagnetycznego doprowadziły do wydzielania w starszym prekambrze następnych kilku superkontynentów. Ich wspólna historia jest przedmiotem debat. Sclavia miała powstać w wyniku amalgamacji o wieku 2,6 Ga, jej fragmentacja nastąpiła w okresie 2,2–2,0 Ga. Ewidentne podobieństwo ewolucji geologicznej w stosunku do Sclavii wykazują kratony: Ałdan (Syberia), Dharwar (Indie), Zimbabwe i Wyoming. Jeszcze starsze superkontynenty to Superia (Bleeker, 2003) 2650–2450 Ma (początek rozpadu) i Kenoraland (2,5–2,1 Ga). Ten ostatni pierwotnie obejmował archaiczne prowincje Ameryki Północnej. Sukcesje wczesnego paleoproterozoiku Karelii, półwyspu Kola

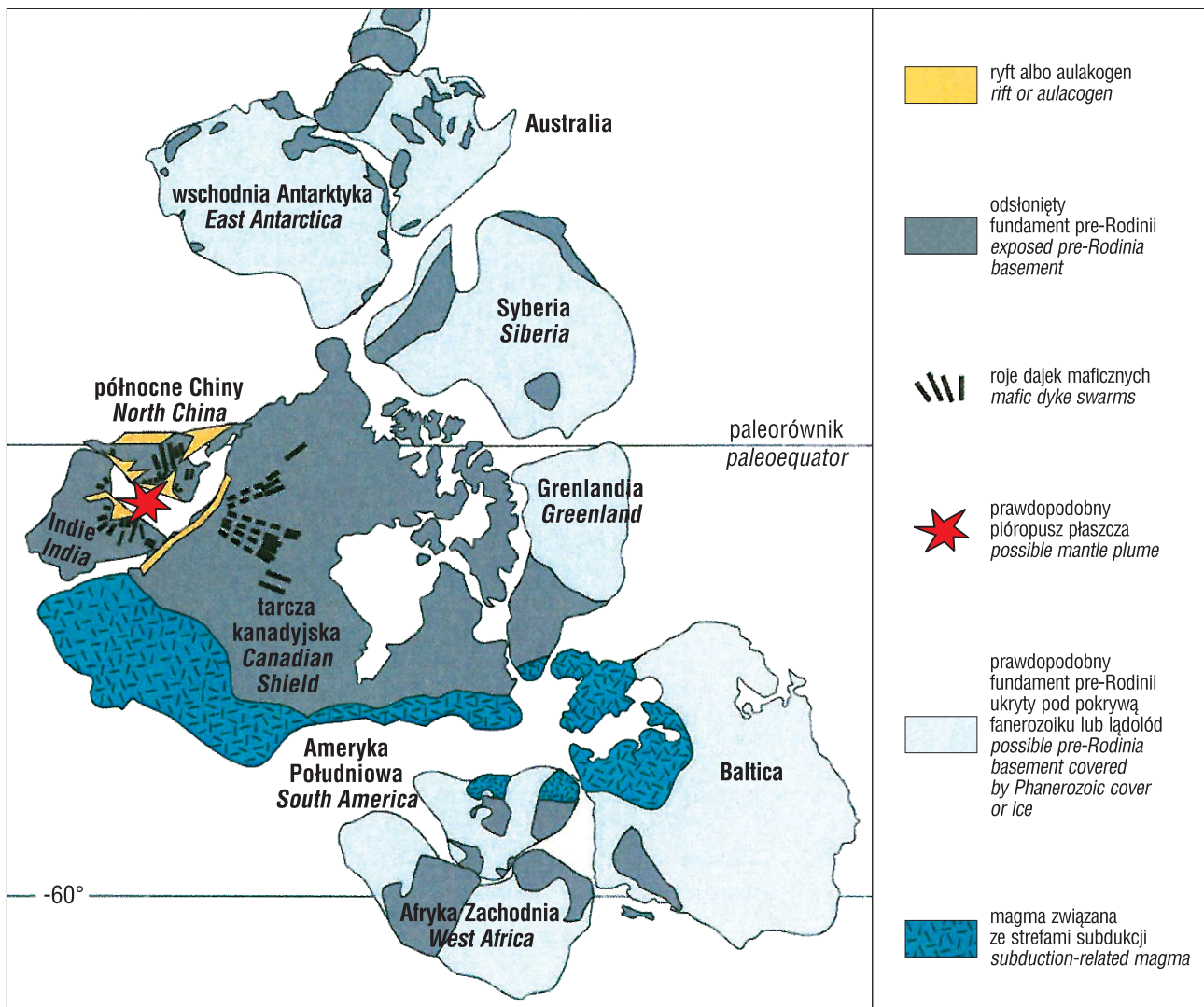
i Syberii są bardzo podobne do sukcesji kratonu północno-amerykańskiego (Aspler & Chiarenzelli, 1998). Neoproterozoiczne i paleoproterozoiczne sukcesje kontynentów południowych są nieco odmienne: drugi superkontynent miał obejmować kratony Kaapval, Zimbabwe, Pilbara (Australia), San Francisco (Ameryka Południowa), Dekan. Wspólna dla wszystkich kratonów jest jednak facja typu formacji żelazistej Jeziora Górnego.

Rekonstrukcje dla archaiku i paleoproterozoiku są nadal niepewne. Przyjmuje się tu cykl superkontynentalny (cykl Wilsona) na podstawie litologii i geochemii kompleksów skalnych oraz ich geochronologii z zastosowaniem kryteriów tektoniczno- płytowych.

Wszystkie rekonstrukcje superkontynentów opierają się na modelu tektoniczno-płytowym (cykl Wilsona). Ponieważ pasy orogeniczne musiały powstawać jako wynik subdukcji i kolizji płyt kontynentalnych, naturalnym następstwem takiego poglądu jest to, że efektem kolizji są superkontynenty, które ulegają rozpadowi, żeby w kolejnym etapie ewolucji Ziemi ponownie zrosnąć się w kolejnej fazie orogenezy. I tak Pangea staje się ciągiem różnych, kolejnych Pangei (Proto-, Paleo-, Neopangea) (Piper, 2000), zadziwiająco podobnych do siebie. W celu wytłumaczenia tego zjawiska sięga się po proces „samoorganizacji” płyt (Anderson, 2002, 2007). Pentagonalne płyty samoorganizują powierzchnię kuli bez względu na oddziaływanie czynników „wglębnych” – takich jak konwekcja w płaszczu. Interpretacja Andersona jest oryginalną próbą wybrnięcia z kłopotów.

Na Ziemi ekspandującej istnieje tylko jeden superkontynent – Pangea – złożona z litosfery kontynentalnej otaczającej całą planetę, o mniejszych niż współczesne





**Ryc. 8.** Rekonstrukcja Columbii (Hou i in., 2008). Ułożenie kontynentów na rekonstrukcji Columbii przypomina te na Rodinii oraz Pangei Wegenera. Do Baltyki przylega Afryka Zachodnia i Ameryka Północna. W bliskim kontakcie z Ameryką Północną jest Syberia, Australia i Antarktyda

**Fig. 8.** Columbia reconstruction by Hou i in. (2008). Arrangement of continents on the reconstruction of Columbia resembles those on Rodinia and Wegener's Pangea. Adjacent to Baltica is North America and West Africa. In close contact with North America are Siberia, Australia and Antarctica

rozmiarach. Proces rozpadu tego superkontynentu był jednorazowy w historii Ziemi. Już w 1982 r. Piper stwierdził: „Możliwość istnienia wielokontynentalnej tektoniki płytowej nie jest już rozwiązaniem, jest niemożliwe bowiem, aby tarcze kontynentalne były wielokrotnie rozdzielane i wracały do tej samej, unikalnej konfiguracji koniecznej, aby być zgodną ze ścieżkami APW”. Pangea rozszerzającej się Ziemi nie wymaga takich, skomplikowanych ruchów i dobrze wyjaśnia stałe położenie kontynentów względem siebie w czasie ewolucji geologicznej Ziemi.

Wprowadzone przez Wegenera pojęcie Pangei jako superkontynentu jest więc nadal w centrum zainteresowania geotektoników, a dyskusja na ten temat trwa. Pojęcie to ma także istotny związek z teorią ekspansji Ziemi.

#### DYSKUSJA GEOTEKTONIKÓW PO LATACH

Teoria tektoniki płyt tworzy dziś kręgosłup współczesnej geotektoniki. Panuje niepodzielnie przez 50 lat, wydaje się niepodważalnym dogmatem, z którym nikt nie chce

dyskutować (Cwojdzński, 2001). Cały współczesny świat geologów jest ukierunkowany na tektonikę płyt, jest ona powszechnie uważana za największe historycznie osiągnięcie geologii, prawdziwy „koniec czasów”. A jednak... W 2003 r. została wydana książka pod redakcją Naomi Oreskes, w której zebrano kilkanaście esejów, autorami jej są ludzie, którzy należeli do twórców i pierwszych wyznawców tektoniki płyt. Po wielu latach, często już na emeryturze, różnie oceniają swój udział w tym dziele, dzielą się także często krytycznymi uwagami na temat samej teorii i jej współczesnej wersji. Znakomitą analizę tego dzieła zawdzięczamy śp. prof. Janowi Kutkowi w jego wykładach wygłoszonych w Muzeum Ewolucji PAN oraz na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w 2010 r.

Należący do współtwórców tektoniki płyt tacy badacze jak D. McKenzie, X. LePichon, P. Molnar odzégnują się w książce N. Orestes od koncepcji sztywnych płyt litosfery, która była podstawą określania prawideł ruchu płyt wokół biegunów rotacji. Mają także wątpliwości co do możliwo-

ści zastosowania tektoniki płyt na kontynentach, choć sam McKenzie wyklucza całkowicie taką opcję. Pozostawiając tektonice płyt jedynie oceany, w sposób nieświadomy popierają ci znani badacze – ekspansję Ziemi!

## LITERATURA

- AMPFERER. 1906 – Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. *Jb K.u.K. Geol. Reichsanst.*, 56: 539–622.
- ANDERSON. J.L. 1983 – Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 161: 133–152.
- ANDERSON D.L. 2002 – How many plates? *Geology*, 30 (5): 411–414.
- ANDERSON D.L. 2007 – *New Theory of the Earth*. Cambridge University Press. New York, s. 384.
- ASPLER L.B., CHIARENZELLI J.R. 1998 – Two Neoproterozoic supercontinents? Evidence from the Paleoproterozoic. *Sediment. Geology*, 120: 75–104.
- BARNETT C.H. – 1969 – Oceanic rises in relation to the expanding Earth hypothesis. *Nature*, 221: 1043–1044.
- BEAUMONT E. de. 1852 – *Notice sur le Systemes de Montagnes*. Paris.
- BLEEKER W. 2003 – The Late Archean record: a puzzle in ca. 35 pieces. *Lithos*, 71: 99–134.
- BROESSKE L. 1962 – *Wächst die Erde mit Naturkatastrophen? Die Expansionstheorie*. Sanus. L. Broesske Abtlg. Verlag. Düsseldorf-Benrath, 41: 1–105.
- BUCHAN K.L., ERNST R.E., HAMILTON M.A., MERTANEN S., PESONEN L.J. & ELMING A-A. 2001 – Rodinia: the evidence from integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology. *Precambrian Res.*, 110: 9–32.
- CAREY S.W. 1959 – The tectonic approach to continental drift. Symposium „Continental drift”. *Geol. Depart. Univ. of Tasmania*: 1–355.
- CAREY S.W. 1976 – The Expanding Earth. *Developments in Geotectonics 10*. Elsevier Sci. Publ. Comp, s. 488.
- CONDIE K. C. 1998 – Episodic continental growth and supercontinents. A mantle avalanche connection? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 163: 97–108.
- CONDIE K. C. 2001 – *Mantle Plumes and Their Record in Earth History*. Cambridge Un. Press, s. 306.
- CONDIE K.C. & ROSEN O.M. 1994 – Laurentia – Siberia connection revisited. *Geology*, 22: 168–170.
- CREER K.M. 1965 – An expanding Earth? *Nature*, 205: 539–544.
- CWOJDZIŃSKI S. 2001 – Czy jest możliwa dyskusja naukowa w geotektonice? (Na marginesie dyskusji prowadzonej na łamach *Wiedzy i Życia*). *Prz. Geol.*, 49 (10/1): 856–857.
- DALZIEL I.W.D. 1991 – Pacific margins of Laurentia and East Antarctic-Australia as a conjugate rift pair: evidence and implications for an EoCambrian supercontinent. *Geology*, 19: 598–601.
- DE JONG K.A. & SCHOLTEN R. 1973 (red.) – *Gravity and Tectonics*. John Wiley & Sons. New York, s. 502.
- DEWEY J.F. & BIRD J.M. 1970 – Mountain belts and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.*, 75: 2625–2647.
- DIETZ R. S. 1961 – Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, 190: 854–857.
- DIETZ R.S. & HOLDEN J.C. 1970 – Reconstruction of Pangea: breakup and dispersion of continents, Permian to present. *J. Geophys. Res.*, 75: 4939–4956.
- FISHER D. 1974 – Some remarks on polar wandering. *J. Geophys. Res.*, 79: 4041–4045.
- HAARMANN A. 1930 – *Die Oszillationstheorie, eine Erklärung der Kruastenbewegungen von Erde und Mond*. F.Enke.
- HEEZEN B.C. 1960 – The Rift in the Ocean Floor. *Sci. Am.*, 203 (4): 99–111.
- HESS. H.H. 1962 – History of ocean basin. *Petrol. Stud. vol. in honour of A.F. Buddington*: 599–620.
- HILGENBERG O.C. 1933 – *Vom wachsenden Erdball*. Giessman & Bartsch G.m.b.H. Berlin.
- HOLMES. 1931 – Radioactivity and Earth's movements. *Trans. Geol. Soc. Glasgow*, 18: 559–606.
- HOU G., SANTOSH M., QIAN X., LISTER G.S. & LI J., 2008 – Configuration of the Late Paleoproterozoic supercontinent Columbia: Insight from radiating mafic dyke swarms. *Sci. Direct. Gondwana Res.*, 14: 395–409.
- HUGHES T. 1975 – The case for creation of the North Pacific Ocean during the Mesozoic era. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, 18: 1–43.
- JARKOWSKI J. 1888 – Hypothese cinetique de la gravitation universelle en connection avec la formation des elements chimiques. Moskwa, s.388.
- KOZIAR J. 1985 – Rozwój oceanów jako przejaw ekspansji Ziemi. *Geologia*, 8: 109–114.
- KOZIAR J. 1991 – Nowa ekspandystyczna rekonstrukcja Gondwany na tle rekonstrukcji dotychczasowych. *Acta Univ. Wratisl. No. 1375. Pr. Geol.-Miner.*, 29: 357–396.
- KOZIAR J. 1992 – Rozwój Pacyfiku i jego znaczenie dla współczesnej geotektoniki. *Str. Ref. PTG O/Poznań. Inst. Geol. UAM. Poznań*.
- KOZIAR J. 1994 – Principles of plate movements on the expanding Earth. [W:] M. Barone & F.Selleri (red.), *Frontiers of Fundamental Physics*. Plenum Press. New York & London: 301–307.
- KUTEK J. 2010 – Teorie tektoniczne w kontekście filozofii nauki. Wykład wygłoszony 23.02.2010 w Muzeum Ewolucji PAN.
- LE PICHON X. 1968 – Sea-floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Res.*, 73: 3661–3697.
- LINDEMANN M. 1927 – *Kettengebirge. Kontinentale Zerspaltung und Erdexpansion*. Verlag v. Gustav Fischer. Jena.
- LUEPKE J.J. & LYONS T.W. 2001 – Pre-Rodinian (Mesoproterozoic) supercontinental rifting along the western margin of Laurentia: geochemical evidence from the Belt-Purcell Supergroup. *Precambrian Res.*, 111: 79–90.
- MASON R. 1988 – Did the Japetus Ocean really exist? *Geology*, 16: 823–826.
- MAXLOW J. 2001 – Teoria rozszerzającej się Ziemi. *Nexus*, 4 (18): 36–41.
- MAXLOW. 2005 – Terra non Firma Earth. Plate tectonics is a Myth. *Wind. Wrocław*, s. 155.
- MOORES E.M. 1991 – South-west US – East Antarctic connection: a hypothesis. *Geology*, 19: 425–428.
- ORESKEŠ N. 2003 (red.) – *Plate tectonics. An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*. Westview, 2003.
- PESONEN L.J., ELMING S.A., MERTANEN S., PISAREVSKI S., D'AGRELLA-FILHO M.S., MEERT J.G., SCHMIDT P.W., ABRAHAMSEN N. & BYLUND G. 2003 – Paleomagnetic configuration of continents during the Proterozoic. *Tectonophysics*, 375: 289–324.
- PIPER J.D.A. 1982 – The Precambrian paleomagnetic record: the case for the Proterozoic supercontinent. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59: 61–89.
- PIPER J.D.A. 2000 – The Neoproterozoic Supercontinent: Rodinia or Paleopangea? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 176: 131–146.
- VOGEL K. 1983 – *Global Models and Earth Expansion*. [W:] Carey S.W. (red.), *Expanding Earth Symposium*. Sydney. 1981. University of Tasmania: 17–27.
- WEGENER A. 1915 – *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg.
- WINDLEY B. 1995 – *The evolving continents*. 3rd ed. Wiley. Chichester, s. 526.
- ZHAO G., CAWOOD P.A., WILDE S.A. & SUN M. 2002 – Review of global 2,1–1,8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinian supercontinent. *Earth-Sci. Rev.*, 59: 125–162.