

## Dlaczego nie sprawdzają się cykle geologiczne tektoniki płyt?

Clifford D. Ollier\*, Jan Koziar\*\*



C.D. Ollier

J. Koziar

Cykl geologiczny — zwany również cyklem skalnym — polega na powtarzalnym przetwarzaniu skał poprzez wietrzenie i erozję, następnie deponowaniu sedymentów, ich kompaktacji i diagenезie, metamorfizmie, granityzacji, przeta-

pianiu i wypiętrzaniu, po którym następuje ponownie wietrzenie, erozja, sedimentacja itd. Cykl geologiczny jest podstawową ideą w naukach o Ziemi od czasów Huttona, który nie widział ani początku ani końca tego procesu (*No vestige of a beginning, no prospect of an end* — 1788). Według pierwotnych założeń teorii, cykl geologiczny miał obejmować wszystkie typy skał i działać we wszystkich rejonach kuli ziemskiej. Później jednak idea cyklu została zmodyfikowana zgodnie z teorią geosynklin i konsolidacji kontynentów, a ostatnio została dostosowana do teorii tektoniki płyt litosfery. W związku z tym cykl geologiczny został rozbudowany do dwu cykli: kontynentalnego (a dokładniej kontynentalno-oceanicznego) i oceanicznego.

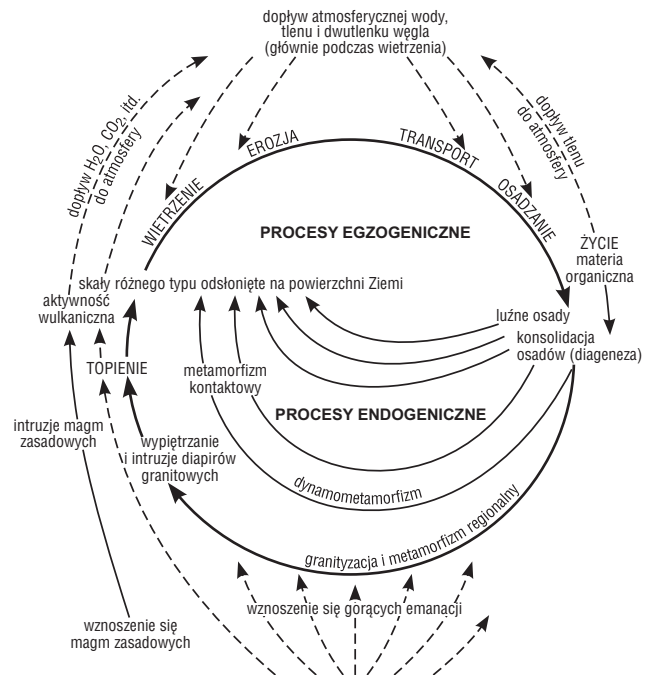
W niniejszej pracy podjęto zadanie wykazania błędności płytowo-tektonicznego schematu recyklowania skał i znalezienia nowego schematu oraz odpowiadającego mu kontekstu geotektonicznego.

### Połączenie pierwotnej koncepcji cyklu geologicznego z teorią geosynklin i z teorią akrecji kontynentów

W drugiej połowie XIX wieku odkryto i scharakteryzowano geosynkliny, wprowadzono podział skorupy ziemskiej na siał i simę, udokumentowano bazaltowy budulec skorupy oceanicznej i zjawisko izostazji. Odkrycia te wykorzystano do sformułowania teorii akrecji kontynentów (Dana, 1876). Według tej koncepcji pierwotna skorupa Ziemi była skorupą oceaniczną. Lokalna działalność wulkaniczna i związana z nią dyferencjacja magmy zasadowej doprowadziła do powstania w prekambrze kwaśnych (granitowych) załączków dzisiejszych kontynentów. Dalszy ich rozwój miał się odbywać przez deponowanie erodowanego z nich materiału w otaczających geosynklinach, jego częściowy metamorfizm i uzupełnianie zawartości geosynklin przez pochodzące z simy zasadowe i kwaśne magmy. Po przekształceniu geosynklin w wypiętrzone pasma fałdowe cykl zaczynał się od nowa. Obszar wypiętrzony podlegał intensywnej erozji i zasilal nowe geosynkliny powstające u brzegów tak rozrastającego się kontynentu. Część osadów była znoszona do jego wnętrza, tworząc osadowe pokrywy

platform na fundamencie zerodowanych korzeni starszych gór fałdowych. Procesy magmowe w geosynklinach (a dokładniej w eugeosynklinach), metamorfizm i fałdowanie, prowadziły do ich konsolidacji i łączenia się ze starszą skorupą kontynentalną w jedną kratoniczną całość. Kontynenty zwiększały też swoją objętość przez wylewy skał zasadowych i kwaśnych w obszarach platformowych.

Tak zmodyfikowany cykl geologiczny przestał być cyklem zamkniętym. Zachodzi w nim dostawa juvenilnych magm zasadowych i kwaśnych z płaszczą Ziemi. Poza tym nie wszystkie skały przechodzą przez cykl wielokrotnie, a niektóre w ogóle nie ulegają odtwarzaniu. Granity powstające poprzez granityzację lub przetopienie starszych granitów mogą być w cyklu odtwarzane. Jednakże ścięte erozyjnie i przykryte pokrywą platformową korzenie starszych pasm fałdowych stawały się stałym składnikiem rosnącego kontynentu. Bazalty z kolei, choć mogą być erodowane i trafiać do basenów geosynkinalnych w postaci materiału klastycznego, nie mogą być w nim odtwarzane. Pochodzą one zawsze z górnego płaszczą jako bazalty juvenile. Ten zmodyfikowany cykl geologiczny, będący cyklem w ramach jednokierunkowego, progresywnego (ewolucyjnego) rozwoju kontynentów, jest przedstawiany na wielu schematach, których reprezentantem jest schemat Holmesa (ryc. 1) z jego wiodącego podręcznika geologii fizycznej.

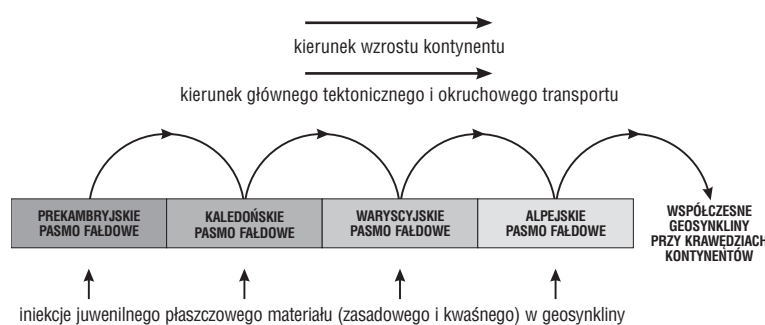


Ryc. 1. Otwarty cykl geologiczny (wg Holmesa, 1965)

Należy podkreślić, że kołowy schemat Holmesa ilustruje jedynie periodiczność procesu, a nie rzeczywisty transport materiału skalnego, który przemieszcza się w przy-

\*School of Earth and Geographical Sciences, University of Western Australia, Nedlands, W.A. 600

\*\*Instytut Nauk Geologicznych, Wydział Nauk o Ziemi i Kształotowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-205 Wrocław



Ryc. 2. Cykloidalny transport materiału skalnego w otwartym cyklu geologicznym, zgodnie z klasyczną teorią konsolidacji kontynentów

blizieniu wzdłuż cykloidy, w kierunku na zewnątrz od centrum rosnącego kontynentu (ryc. 2).

### Problemy z geotektonicznym kontekstem zmodyfikowanego cyklu geologicznego

Nowy cykl geologiczny okazał się w zasadzie poprawny, lecz w jego geotektonicznym kontekście pojawiły się problemy. Dokładniejsze rozpoznanie struktury wiekowej kontynentów wykazało, że wcale nie mają one tak regularnej budowy, jak wynikało z teorii konsolidacji tychże kontynentów. Skorupa kontynentalna jest nieregularnie poprzecinana różnowiekowymi strukturami, nie tylko pasmami fałdowymi, ale i zamartymi geosynklinami (aulakogenami). Struktura taka świadczy o wewnętrznym rozpadzie kontynentów. Teoria Wegenera mogła ten rozpad wyjaśnić poprzez tensję, tak jak wyjaśniała go w większej skali dylatacyjnym rozpadem superkontynentu Pangei na oddzielne kontynenty. Proces taki został zresztą wiele lat później wykazany w odniesieniu do geosynklin i tym samym aulakogenów (Günzler-Seifert, 1941; Staub, 1951; Lemoine, 1953; Trümpy, 1957, 1958) oraz rozległych basenów osadowych (McKenzie, 1978; Jarvis & McKenzie, 1980).

Borykając się z tym problemem na gruncie zwycięskiego fiksycyzmu (stabilizmu) Stille (1944) próbował zmodyfikować pierwotną teorię konsolidacji kontynentów, wprowadzając do niej proces zapadania się skorupy kontynentalnej, nazwany przez niego „regeneracją”. Popadł przy tym jednak w sprzeczność z teorią izostazji, podobnie jak przedwegenerowska teoria pomostowa. Co więcej, okazało się, że w miejscach, gdzie powinny się znajdować zapadnięte bloki sialu, występuje simatyczne podłoże bazaltowe. Zaproponowano więc kolejny, hipotetyczny proces, nazwany „bazyfikacją” (Bielousow, 1960), mający polegać na rozpuszczaniu sialu w simie. Jest on jednak sprzeczny z prawidłowościami fizykochemicznymi i teorią dyferencjacji magm zasadowych w kierunku magm kwaśnych.

### Odkrycie rozrostu litosfery oceanicznej i teoria ekspandującej Ziemi

Carey (1958) i Heezen (1960) odkryli proces rozrostu, czyli spredingu litosfery oceanicznej. Obaj autorzy wiązali go ze sformułowaną wiele lat wcześniej teorią ekspansji Ziemi (Jarkowski, 1888, 1889; Lindemann, 1927; Hilgenberg, 1933). Carey uzasadniał tę teorię w nowy sposób, wskazując na rozsuwanie się kontynentów wokół Pacyfiku, co jest równoważne ze wzrostem jego powierzchni,

oraz na podłużny (obok poprzecznego) rozrost grzbietów oceanicznych. Szersze zestawienie argumentów na rzecz ekspansji Ziemi przedstawiono w pracach Olliera (1981), Cwojdziańskiego (2003) i Koziara (2004).

Teoria ekspansji Ziemi łączy w jedną całość rozsuwanie się kontynentów i związany z tym spreding litosfery oceanicznej oraz ich wewnętrzny, tensyjny rozpad. Co więcej, wyjaśnia stopniowy zanik procesu tworzenia się geosynklin rozładowywaniem tensji, głównie w basenach oceanicznych. Przed górną jurą tensja ta rozładowywała się wyłącznie w obrębie skorupy kontynentalnej, która pokrywała wtedy całą powierzchnię Ziemi (za wyjątkiem eugeosynklinalnych ryftów). W późniejszym okresie nastąpił stopniowy transfer rozładowywania się globalnej tensji ze skorupy kontynentalnej do nowo powstałych obszarów oceanicznych.

Pod koniec lat 1960. proces rozrostu litosfery oceanicznej został jednak wykorzystany i włączony jako element składowy tektoniki płyt litosfery, bez podważenia i dyskusji dowodów ekspansji Ziemi podanych przez Careya.

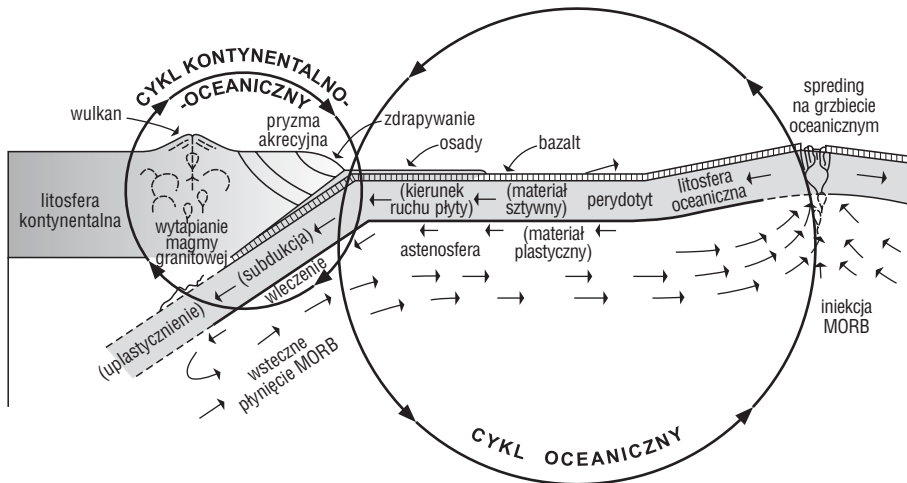
### Cykl geologiczny w ujęciu tektoniki płyt litosfery

Wiadomo dzisiaj z całą pewnością, że litosfera oceaniczna rozrasta się w osiach odkrytego przez Careya (1958) i Heezena (1960) spredingu. Odbyna się to w partiach osiowych grzbietów śródoceanicznych poprzez intruzje bazaltów MORB (*Mid-Oceanic Ridge Basalts*).

Tektonika płyt, zakładająca niezmiennosc promienia Ziemi, aby utrzymać stałe rozmiary globu, przyjmuje, że płyty oceaniczne są podsuwane pod inne płyty w tzw. strefach subdukcji. Jeden z twórców tektoniki płyt, Le Pichon (1968), pisał: *jeżeli Ziemia nie ekspanduje, to muszą istnieć inne granice płyt, wzdłuż których płyty są skracane lub niszczone* (str. 3673). Materiał oceaniczny musi zatem wrócić do miejsca spredingu i, wynurzając się, zamknąć w ten sposób cykl. Taka wędrówka materii ma być zapewniona poprzez system hipotetycznych prądów konwekcyjnych, które to prądy są traktowane zarazem jako mechanizm napędowy płyt litosfery. W ten sposób wprowadzono w tektonice płyt nowy cykl geologiczny, który jest cyklem oceanicznym (ryc. 3), nazywanym również cyklem płaszczowym (Flint & Skinner, 1977). Pierwszą ideę takiego cyklu przedstawił Dietz (1961).

W trakcie realizacji cyklu oceanicznego kontynent jest erodowany, a osady deponowane w rowach oceanicznych. Część z nich jest zdrapywana, tworząc pryzmę akrecyjną, a pozostałe są transportowane w dół razem z subdukowaną płytą. Opadająca płyta jest częściowo topiona, w wyniku czego powstaje magma. Jej część może tworzyć granity, a część może wydobywać się na powierzchnię w procesie wulkanizmu andezytowego. W ten sposób za pomocą tektoniki płyt zreinterpretowano klasyczny cykl kontynentalny i połączono go z nowo wykreowanym cyklem oceanicznym (ryc. 3). Jest to *de facto* złożony cykl kontynentalno-oceaniczny, który będziemy nazywać krótko „cyklem kontynentalnym”.

Oba cykle, tworząc razem bardzo skomplikowany układ, stały się na powrót cyklami zamkniętymi. Tylko energia cieplna jest do nich dostarczana z zewnątrz. Oznacza to regres w stosunku do otwartego cyklu klasycznego, prezentowanego na ryc. 1, w którym uwzględniono proces



Ryc. 3. Cykle tektoniki płyt

wzrostu skorupy ziemskiej kosztem juwenilnego materiału płaszczowego.

Warto zwrócić uwagę, że okręgi na ryc. 3 odpowiadają w przybliżeniu zakładanemu tu obiegowi materii, czego nie było w cyklach klasycznych — zarówno w cyklu pierwotnym, zamkniętym, jak i zmodyfikowanym, otwartym.

Tektonika płyt odrzuca teorię geosynklin, z którą jest związany klasyczny, otwarty cykl geologiczny i która była słusznie uważana (obok cyklu geologicznego) za *najważniejszą, podstawową ideę w tektonice* (Kettner, 1956 — str. 258). Powodem odrzucenia jest cykliczność ewolucji geosynklin, a zakładana przez tektonikę płyt subdukcja powinna być ciągła w związku z ciągłością udowodnionego procesu spredingu.

### Problemy z cyklem oceanicznym

**Skład bazaltów oceanicznych (MORB).** *MORB to toleity oliwinowe z małym zakresem wahań głównych składników, co wskazuje na stabilność procesów działających wzdłuż większości osi spredingu. Są one najobfitszymi skałami eruptywnymi na Ziemi i ich tworzenie jest najbardziej istotnym procesem dyferencjacji górnego płaszczu w czasie geologicznym* (Wilson, 1989). MORB, lokalizowany pierwotnie w grzbieciech oceanicznych, okazał się skałą typową dla wszystkich oceanów. W teorii tektoniki płyt subdukowana płyta składa się z bazaltu MORB i trudnej do określenia ilości osadów o różnym składzie chemicznym, zależnym od typu kontynentalnych skał, z których osady te pochodzą. W cyklu oceanicznym tektoniki płyt bazalt, po przetopieniu, kontaminacji, dyferencjacji, wytworzeniu granitoidowych batolitów i andezytowych wulkanów, powraca do grzbieców oceanicznych (ryc. 3). W sposób zadziwiający procesy związane z subdukcją oczyszczają bazalt tak, że kiedy pojawia się on ponownie na grzbieciech oceanicznych, zawsze stanowi specyficzny typ bazaltu, jakim jest MORB.

Wbrew znacznej zmienności skał kontynentalnych, powodującej dużą różnorodność osadów u krawędzi kontynentów, a także wbrew komplikacjom związanym z obecnością lub brakiem łuków wysp, rowów oceanicznych oraz wbrew stromej lub łagodnej strefie Benioffa, subdukowany i recyklowany w komórkę konwekcyjnej materiał odzyskuje swój skład i w końcu wyłania się w grzbieciech śródoceanicznych znowu jako MORB. Subdukowana płyta

oceaniczna nie może jednak produkować andezytów, a nawet granitów, a następnie powracać na grzbiet oceaniczny, zachowując skład MORB-u. Nasuwa się zatem wniosek, że bazalt oceaniczny nie jest cyklicznie przetwarzany.

### Woda i składniki lotne wydzielane przez magmę MORB.

Kiedy tworzony jest MORB, powstaje nie tylko skała, lecz wydobywają się z głębi również takie składniki, jak: woda, hel, dwutlenek węgla, argon i inne. Ze stałego składu MORB i wydobywania się tych juwenilnych składników wynika także juwenilność samego bazaltu. Jedyne potrzeba stworzenia cyklu oceanicznego na Ziemi o stałych rozmiarach prowadzi do wniosku, że MORB jest recyklowany.

W strefach spredingu pojawia się m.in. hel. Jest on bardzo lekki i uchodzi bezpowrotnie w kosmos. Hel nie podlega żadnym geologicznym ani biologicznym cyklom. Zawartość helu w atmosferze jest określona jego tempem uwalniania z Ziemi i tempem jego ucieczki z atmosfery. Jeżeli skorupa oceaniczna ma być recyklowana, jak domagają się zwolennicy tektoniki płyt, bazalty MORB przed pojawieniem się na grzbieciech oceanicznych musiałyby zaopatrywać się w nowy hel. Łatwiej przyjąć, że zarówno bazalt, jak i hel są juwenilne.

Dodatkowym argumentem za takim poglądem jest izotopowy skład helu. Pierwiastek ten występuje pod postacią dwu izotopów:  $^4\text{He}$  i  $^3\text{He}$ . Izotop  $^4\text{He}$  jest produktem radioaktywnego rozpadu uranu i toru. Izotop  $^3\text{He}$  jest bardziej tajemniczy, jako że nie znamy mechanizmu jego powstawania na Ziemi. Przyjmuje się, że jest on pierwiastkiem pierwotnym z czasów formowania się naszej planety (np. Gold, 1987).

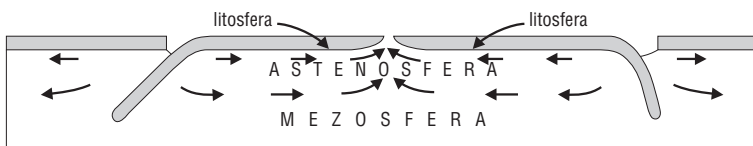
Za miarę stosunku  $^3\text{H}/^4\text{He}$  przyjmujemy wielkość tego stosunku w atmosferze ziemskiej, gdzie wynosi ona  $1 : 1,4 \times 10^6$ , oznaczając ją jako  $R_A$ . Przez  $R$  oznaczamy stosunek  $^3\text{H}/^4\text{He}$  w danym miejscu i wyrażamy go wielokrotnością  $R_A$ . Dla helu wydobywającego się na grzbieciech oceanicznych  $R \approx 8$ . Stosunek ten jest zaskakująco stały, w sytuacji, gdyby oba izotopy miały pochodzić z różnych źródeł. Jambon (1994) pisze: *Ten wysoki stosunek musi być odziedziczony po pierwotnym helu ( $R \geq 100 R_A$ ) z niewielkim dodatkiem helu radiogenicznego. Ponieważ tak wysoki stosunek nie może być wytwarzany w płytkich zbiornikach, musi zatem pochodzić z płaszczu, wskazując, że dzisiejszy płaszcz dotąd zachowuje pierwotne gazy.* Alternatywnie Herndon (2003) dopuszcza, że  $^3\text{He}$  jest tworzony przez jądrowy generator w głębi Ziemi.



Tak czy inaczej istotne jest to, że wysoka i stała wartość  $^3\text{He}/^4\text{He}$  jest zawsze stwierdzana w osiach spreadingu. Potwierdza to zatem przypuszczenie, że mamy tu do czynienia z nowym materiałem o określonych cechach, pojawiającym się na grzbietach oceanicznych niezgodnie z ideą recyklingu.

**Wiek oceanów.** We wszystkich oceanach najstarsza litosfera pochodzi z górnej jury. Za starszą uważa się jedynie ofiolity w przedmezozoicznych pasmach fałdowych. Warto jednak przypomnieć, że ofiolity nie były traktowane przez geologię klasyczną jako relikty oceanów. Jeżeliby jednak nawet były, to jak wyjaśnić, że wszystkie starsze od górnej jury obszary oceaniczne (postulowane przez tektonikę płyt) zostały zlikwidowane. Prawdopodobieństwo tak precyzyjnej likwidacji jest znikome. Zachodzi zatem podejrzenie, że uzasadniamy jedną fikcją przez drugą, tj. — istnienie dawnych oceanów przez cykl oceaniczny tektoniki płyt, który miał je usunąć. O wiele prościej przyjąć, że wraz z juwenilnym MORB, również obecne oceany są pierwszymi, które pojawiły się w historii naszej planety.

**Konwekcja w płaszczu Ziemi.** W teorii tektoniki płyt materiał płaszczowy wraca poniżej płyty oceanicznej i wynurza się powtórnie na grzbiecie oceanicznym, tworząc komórki konwekcyjne (ryc. 4), które są traktowane jako mechanizm napędowy płyt litosfery.



Ryc. 4. Elementarny schemat prądu konwekcyjnego (wg Isaacs i in., 1968 — zmodyfikowany)

Powyższy schemat był publikowany wiele razy. Nie zwraca się jednak uwagi na to, że widoczne na nim strzałki nie tworzą zamkniętej komórki konwekcyjnej. Płynięcie od grzbietu oceanicznego jest ograniczone do samej litosfery. Cała astenosfera bierze udział w ruchu powrotnym. Subdukująca płyta sięga poniżej prądu wstecznego.

W czasach, kiedy koncepcja prądów konwekcyjnych w płaszczu Ziemi pojawiła się po raz pierwszy, była raczej niejasną ideą. Sami twórcy tektoniki płyt mieli co do niej wątpliwości. *Geneza sił poruszających płyty jest ze wszelki miar niejasna* — pisał McKenzie (1972 — str. 323). Wtórnie mu Le Pichon i współautorzy (1973 — str. 18): *Dynamika płyt i geneza [ich] ruchów nie są dyskutowane. Nie ma*

*dotąd zadowalającego wyjaśnienia tych problemów.* Jeszcze wcześniej Le Pichon (1968 — str. 3673) pisał: *Jednakowoż, jeżeli Ziemia nie ekspanduje, to jaki jest mechanizm powodujący takie ruchy [płyt]?*

Koncepcja prądów konwekcyjnych w płaszczu Ziemi pozostaje niejasna do dziś (np. Cwojdzński, 2004). Współczesne schematy prądów konwekcyjnych nadal są bardzo skomplikowane i niejednoznaczne (np. ryc. 5; wg van der Pluim & Marshak).

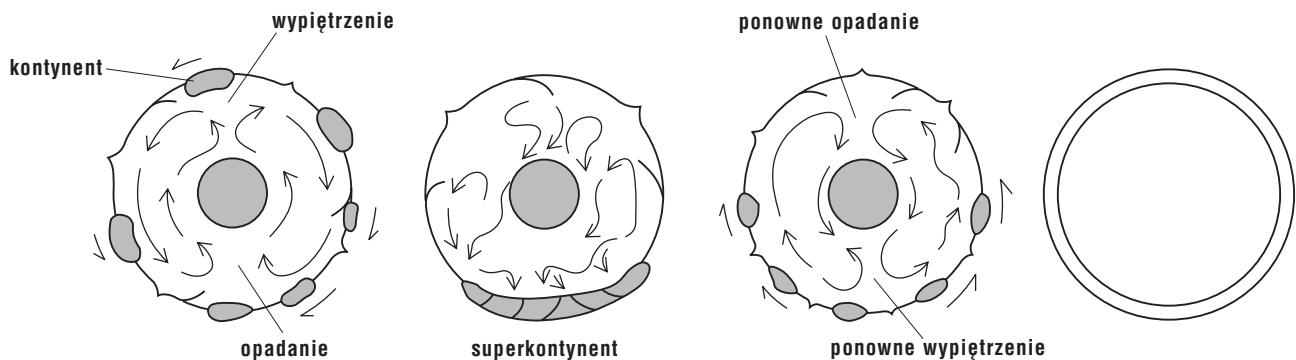
Liczni autorzy (np. Brown & Muset, 1993; Stuart i in., 2003) uznają nieciągłość sejsmiczną na głębokości 650 km za nieprzekraczalną barierę dla prądów konwekcyjnych, poniżej której ewentualna konwekcja nie ma geotektonicznego znaczenia. Zatem decydujące o ruchu płyt komórki konwekcyjne powinny się mieścić w wąskiej warstwie górnego płaszcza (ryc. 5 — skrajny prawy rysunek). Szerokość komórki staje się przez to o wiele większa (od grzbietu atlantyckiego do krawędzi Pacyfiku i od grzbietu wschodnio-pacyficznego do Wysp Japońskich) niż jej głębokość, co uniemożliwia konwekcję, nawet gdyby górny płaszcz był cieczą.

**Długość osi spreadingu i stref subdukcji.** Długość osi spreadingu jest mniej więcej trzy razy większa od długości domniemyanych stref subdukcji, tym samym, zgodnie z zasadami tektoniki płyt, produkowane jest trzy razy więcej skorupy oceanicznej niż jest konsumowane. Aby utrzymać zerowy bilans tworzenia i niszczenia litosfery oceanicznej, tempo dosuwania się płyt do rowów oceanicznych powinno być o wiele większe niż tempo ich odsuwania się od grzbietów oceanicznych. Tymczasem, według tektoniki płyt, tempo ruchu płyt między osią rozrostu a strefą konsumpcji musi być stałe.

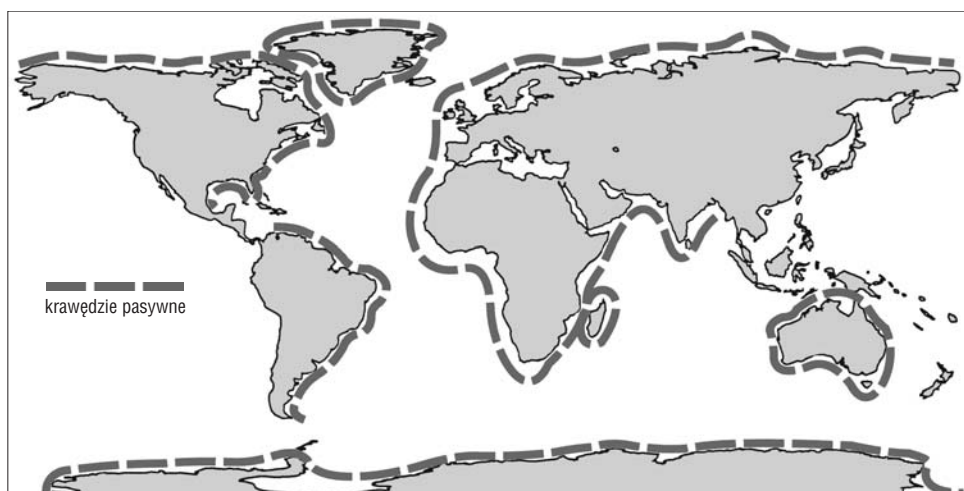
Jednym słowem — tektoniczno-płytowy cykl oceaniczny nie działa. Oznacza to, że rozrost litosfery oceanicznej na grzbietach oceanicznych nie jest kompensowany w aktywnych krawędziach kontynentów. Brak tej kompensacji oznacza brak konwergentnego ruchu w tychże krawędziach, co może być wykazywane również bezpośrednio (Krebs, 1975; Carey, 1976; Tanner, 1976; Koziar & Jamrozik, 1991; Koziar & Jamrozik, 1994; Chudinov, 1998; Koziar, 2003).

### Problemy z cyklem kontynentalnym

**Subdukowanie osadów kontynentalnych.** Według tektoniki płyt subdukcja zachodzi wzdłuż tzw. aktywnych (sejsmicznych) krawędzi kontynentów. Są to zachodnie



Ryc. 5. Globalny schemat komórek konwekcyjnych, tworzących i rozbijających superkontynenty (van der Pluim & Marshak, 1997; Fig. 14.18)



Ryc. 6. Rozmieszczenie pasywnych krawędzi kontynentów

wybrzeża obu Ameryk oraz łuki wysp. W pasywnych (asejmicznych) krawędziach kontynentów subdukcja nie jest zakładana. Do funkcjonowania płytowo-tektonicznego cyklu kontynentalnego potrzebne jest deponowanie sedimentów tam, gdzie subdukcja jest zakładana. Tymczasem domniemana subdukcja a rzeczywista depozycja osadów zachodzą w różnych miejscach. Deponowanie sedimentów zachodzi bowiem głównie wzdłuż pasywnych krawędzi kontynentów. Krawędzie te są trzy razy dłuższe od krawędzi aktywnych (ryc. 6), a prawie wszystkie duże rzeki są skierowane właśnie w stronę krawędzi pasywnych.

Większość amerykańskich zlewni uchodzi do Atlantyku lub Arktyki, gdzie nie ma aktywnych krawędzi. Dwie z największych rzek świata — Amazonka i Missisipi-Missouri — płyną w kierunku krawędzi pasywnych. Potter (1978) wskazuje, że 25 największych delt znajduje się na krawędziach pasywnych. Zatem większość osadów zmierza do miejsc będących poza płytowo-tektonicznym cyklem kontynentalnym. Osady te nie mogą być więc recyklowane i przywrócone kontynentom.

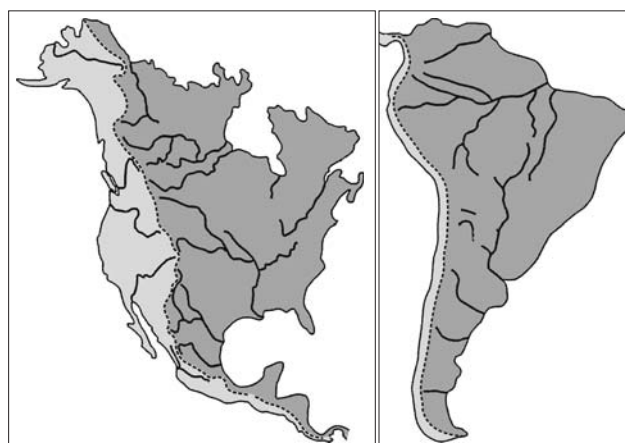
Od czasu separacji Antarktydy od innych części Gondwany jej osady są deponowane wokół niej bez żadnej możliwości dołączenia ich do jej sialicznego cokołu. Płyto-tektoniczne cykle nie działają tu w ogóle. To samo odnosi się do Australii, za wyjątkiem, być może, morza Timor-Arafura, i do Afryki, za wyjątkiem, być może, Morza Śródziemnego.

Ocean Arktyczny jest otoczony wyłącznie krawędziami pasywnymi, a jest zlewnią kilku potężnych rzek. W wielu obszarach osady przybrzeżne są dobrze rozpoznane, np. wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych jest rozpoznane aż do kredy, podobnie rozpoznane jest wybrzeże Skandynawii. Atlantycka linia zgodności kształtów kontynentów wykazuje, że przyzmy osadowe są zdeponowane na krawędzi kontynentu. Jedynie delta Nigru sięga poza jego granice.

Przy niektórych kontynentach ryfty utworzone w pierwszych stadiach fragmentacji Gondwany zachowały się jako baseny solne, jak np. wokół Afryki. Są one zdeformowane przez tektonikę solną, lecz nie zostały nasunięte na lub podsunęte pod kontynent, za wyjątkiem krótkiego odcinka nasuniętych, waryscyjskich mauretaniidów.

Z kolei, niewiele osadów może być subdukowanych pod aktywne krawędzie kontynentów bez łuków wysp. Aktywne krawędzie kontynentów tego typu są ograniczone do zachodnich wybrzeży obu Ameryk. Ich całkowita długość jest jednak fałszywą miarą zakładanej subdukcji.

Nie ma bowiem rowów oceanicznych ani strefy Benioffa wzdłuż zachodnich wybrzeży Ameryki Północnej (poza Alaską). Głównym jednak problemem cyklu kontynentalnego obu Ameryk jest zamknięcie zlewni głównych rzek od zachodu (ryc. 7). Zatem tylko niewielka ilość osadów może być deponowana u zachodnich, aktywnych krawędzi obu kontynentów.

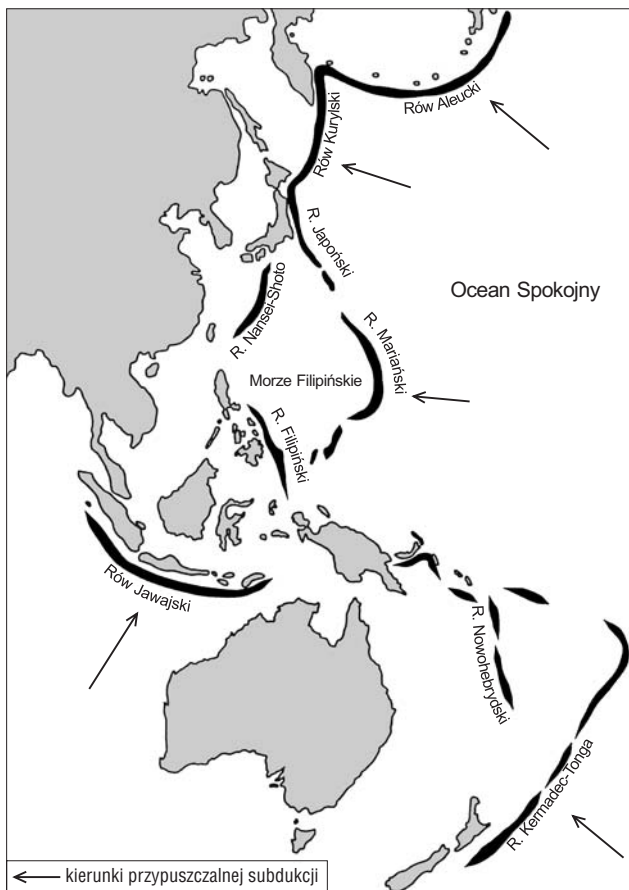


Ryc. 7. Linia wielkiego wododziału obu Ameryk

Niewiele osadów może być także subdukowanych pod łuki wysp. Łuki wysp są głównymi strefami, gdzie subdukcja jest zakładana i tym samym strefami, w których osady powinny być przywracane skorupie kontynentalnej.

Zewnętrzna część większości zachodniopacyficznych łuków wysp (ryc. 8) może odgrywać tylko niewielką rolę w recyklingu materiału kontynentalnego, jako że powinny one subdukować prawie wyłącznie litosferę oceaniczną i tylko trywialną ilość materiału znoszonego z samych łuków wysp (ma to miejsce, jeżeli subdukcja w ogóle zachodzi). Podobnie jest z łukami indonezyjskimi, gdzie nie ma żadnych większych źródeł osadów, tak że ich rola w kontynentalnym recyklingu nie może być duża.

Za łukami wysp znajdują się baseny załukowe. Wychwytyją one wszystkie osady kontynentalne i zapobiegają ich przedostaniu się do rowów oceanicznych. Same tylko baseny załukowe mogłyby recyklować produkty kontynentalnej erozji i dołączać je z powrotem do skorupy kontynentalnej. Lecz baseny załukowe nie spełniają takiej roli — nie ma tu bowiem rowów oceanicznych ani stref Benioffa, które można by wiązać z domniemaną subdukcją.



**Ryc. 8.** Rozprzestrzenienie łuków wysp. Strzałki pokazują kierunek przypuszczalnej subdukcji. Strzałki są tylko schematyczne. Ruch płyt może być skośny, a nawet styczny do łuku wyspowego, jak w przypadku Aleutów

**Geneza wulkanizmu andezytowego.** Wulkanizm andezytowy aktywnych krawędzi kontynentów wydaje się nie wiązać z przetapianiem subdukowanych osadów pochodzenia kontynentalnego. Niektóre łuki wysp, jak Kermadec-Tonga, Mariany, Kuryle i Aleuty, dostarczają do towarzyszących im rowów niewielkie ilości osadów, a przy tym same te łuki nie są zbudowane ze skorupy kontynentalnej. Mimo to wulkanizm tych wysp jest andezytowy. Do aktywnej krawędzi Ameryki Płn., tzw. Kaskadii, są wprawdzie dostarczane osady kontynentalne, ale krawędź ta nie ma ani rowu oceanicznego, ani strefy Benioffa. Mimo to wulkanizm Kaskadii jest andezytowy. Wulkanizm andezytowy występuje również na wyspach oceanicznych i w pobliżu osi spreadingu, gdzie subdukcja produktów kontynentalnej erozji jest niemożliwa. Andezyty znajdujemy na Islandii, trachity występują na wyspach Tristan da Cunha. Widocznie skały te powstają w wyniku dyferencjacji MORB. Z powyższego wynika, że wulkanizm andezytowy aktywnych krawędzi kontynentów wiąże się z dyferencjacją magmy bazaltowej, a nie z recyklingiem osadów kontynentalnych, zakładanym przez tektonikę płyt w ramach jej cyklu kontynentalno-oceanicznego. Za takim wnioskiem przemawia również płaszczowa, dyferencyjna geneza granitoidowych batolitów Kordylierów (Brown, 1977; Coleman & Walker, 1992; Barbarin, 1999) związanych z aktywną krawędzią kontynentu Ameryki Płn.

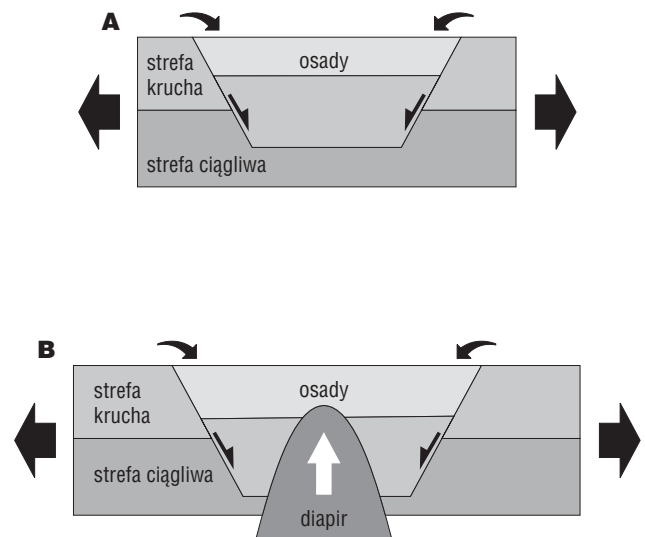
Tektoniczno-płytowy cykl kontynentalny stał się podstawą koła błędnego rozumowania. Najpierw zakłada się,

że pojawianie się magm kwaśnych jest skutkiem przetapiania subdukowanych sedymentów. Następnie magmy te stają się „dowodem” procesu subdukcji, a konkretnie mają „dowodzić” jej istnienia w wielu różnych miejscach skorupy kontynentalnej.

### Cykl geologiczny na ekspandującej Ziemi

Cykl geologiczny na ekspandującej Ziemi nie różni się zasadniczo od zmodyfikowanego (otwartego) cyklu klasycznego i tak jak on wiąże się z teorią geosynklin. Obie klasyczne koncepcje znajdują tu prosty, dynamiczny kontekst — tensyjne rozrywanie litosfery kontynentalnej.

Tensja tworzy najpierw negatywną formę zagłębienia ryftowego, które wypełniane osadami staje się potencjalną geosynkliną (ryc. 9a). Dalsze rozciąganie i rozrywanie wywołuje diapirową reakcję głębokiego podłoża (ryc. 9b, 10a) i początek procesów magmowych i metamorficznych w strukturze, która na mocy definicji staje się eugeosynkliną. Przedstawiony ryftowo-diapirowy mechanizm jest dziś dobrze rozpoznany i udokumentowany (np. Burke, 1980; Latin & White, 1993; Kearey & Vine, 1997).

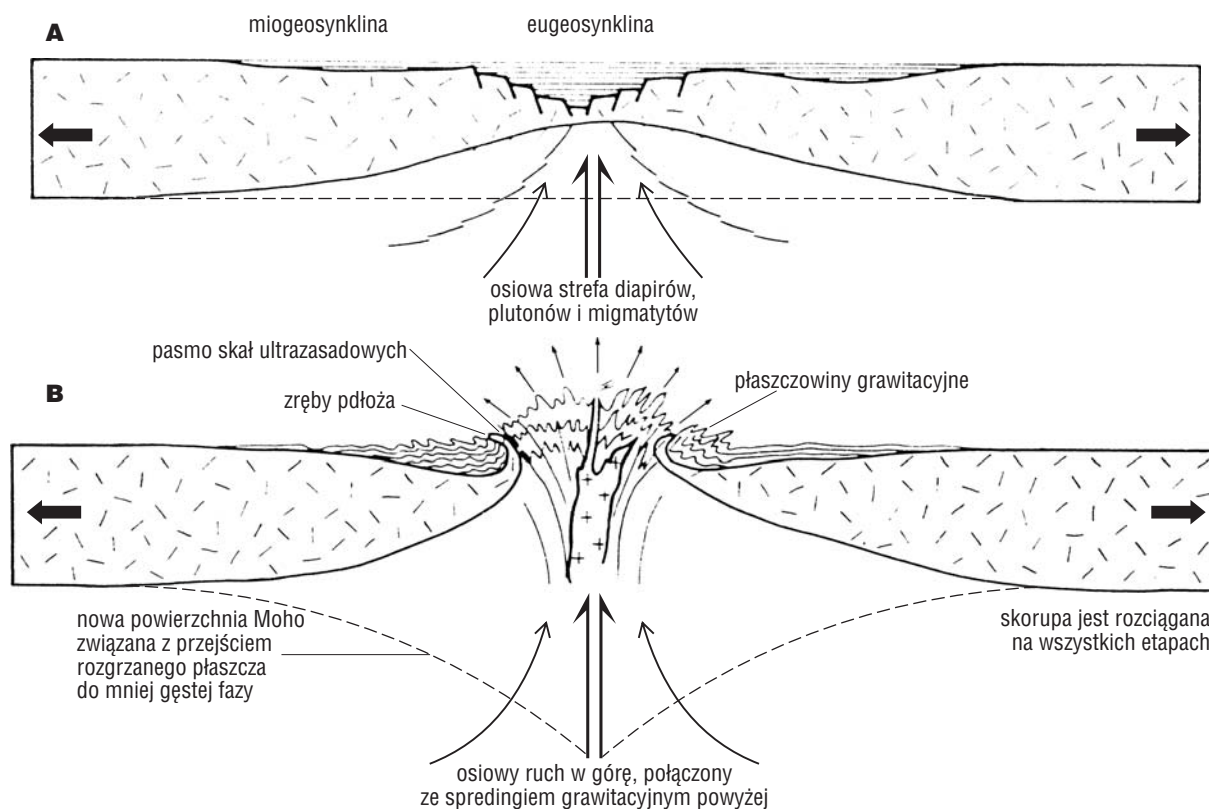


**Ryc. 9.** Rozwój geosynkliny (A) i diapiryzmu górnego płaszczu (B) jako następstwo rozciągania i rozrywania litosfery kontynentalnej

Głębokość obniżenia ryftowego i miąższość jego osadowego wypełnienia może sięgać kilkunastu kilometrów. Diapir doprowadza, z o wiele większych głębokości, duże ilości wody juwenilnej (Klimas & Koziar, 2002) o istotnym znaczeniu dla procesów metamorfizmu i przetapiania serii eugeosynkinalnych oraz dla kształtowania się tektoniki serii metamorficznych. Naciski stowarzyszonej z diapirem wody juwenilnej może podnieść ciśnienie w dolnej części eugeosynkliny do wartości znacznie wyższych od ciśnienia hydrostatycznego nadkładu. Dalszy rozwój diapiryzmu może doprowadzić do wypiętrzenia i obnażenia dolnych, osiowych części eugeosynkliny. Proces ten, nazwany współcześnie „ekshumacją”, też jest dobrze rozpoznany i udokumentowany (np. Jolivet i in., 1996; Sosson i in., 1998).

Diapirowe wypiętrzenie utworów eugeosynkliny powoduje transport grawitacyjny na zewnątrz od osi wypiętrzenia i tym samym tworzy pasma fałdowe (ryc. 10b).





**Ryc. 10.** Rozwój geosynklin (A) oraz diapiryzmu i fałdowania grawitacyjnego (B) jako następstwo rozciągania i rozrywania litosfery kontynentalnej (wg Careya, 1976)

Odgazowanie i kolaps wierzchołka diapiru doprowadzają do powstania zapadliska śródgórskiego.

Bardziej szczegółowe omówienie i dokumentację procesu tensyjnego rozwoju pasm fałdowych przedstawili Carey (1976), Koziar & Jamrozik (1985a i b), Ollier & Pain (2000), Ollier (2003, 2005) i Koziar (2005a i b, 2006).

Materiał skalny w cyklu geologicznym na ekspandującej Ziemi także przemieszcza się cykloidalnie, lecz bez wyróżnionego w planie kierunku, a kolejne, coraz młodsze geosynkliny oraz pasma fałdowe nie muszą ze sobą sąsiadować i być do siebie równoległe. Rozrywanie litosfery może zachodzić w różnych częściach kontynentów i mieć różny przebieg. Tłumaczy to nieregularną, mozaikową budowę skorupy kontynentalnej, którą zbagatelizowała klasyczna teoria konsolidacji kontynentów i z którą nie mógł sobie poradzić Stille (1944) w swej zmodyfikowanej teorii konsolidacji.

W wyniku tensyjnego rozwoju geosynklin i pasm fałdowych kontynenty zwiększają swoją powierzchnię. Zwiększają ją też wyniki rozwoju aulakogenów i rozległych basenów osadowych, których tensyjny rozwój jest dziś dobrze rozpoznany. Natomiast objętość kontynentów rośnie w wyniku dopływu z płaszczu juwenilnych magm kwaśnych i zasadowych. Dopływ ten inicjowany jest zawsze rozciąganiem i rozrywaniem litosfery, co mobilizuje magmy poprzez dekompresję, zapewnia im możliwość ruchu ku powierzchni Ziemi i tworzy przestrzeń zajmowaną przez intruzywne ciała magmowe.

Klasyczny, nieewolucyjny cykl geologiczny był wmontowany w ewolucyjny rozwój kontynentów. Cykl geologiczny na ekspandującej Ziemi sam podlega ewolucji w sensie swego zanikania w miarę zanikania geosynklin, co wiąże się ze wspomnianym już transferem rozładowania

globalnego reżimu tensyjnego z obszarów kontynentalnych do oceanicznych. Osłabianie reżimu tensyjnego w obrębie kontynentów jest też widoczne w słabnym rozwoju rozległych basenów osadowych, które są strukturami większymi i lepiej czytelnymi od geosynklin.

W obszarach oceanicznych mamy do czynienia prawie wyłącznie z dopływem z głębi materiału juwenilnego. Na grzbietach oceanicznych nie realizuje się żaden cykl geologiczny.

### Wnioski

Wykazywana w artykule nierealność cyklu oceanicznego oznacza powrót do zmodyfikowanego cyklu klasycznego, w którym cały ekstrudujący bazalt jest bazaltem juwenilnym. Poza tym, niemożność istnienia tego cyklu wyklucza hipotezę prądów konwekcyjnych w płaszczu Ziemi i kompensację spredingu w miejscach zakładanych stref subdukcji. Ponieważ spreding litosfery oceanicznej jest udowodniony ponad wszelką wątpliwość, brak jego kompensacji jest jednoznaczny z ekspansją Ziemi.

Płyto-tektoniczna wersja cyklu kontynentalnego także powinna być odrzucona. Wynika to z omówionych problemów tej koncepcji, a poza tym ta wersja cyklu zazębia się z drugim nierealnym cyklem tektoniki płyt — z cyklem oceanicznym. Jednak recykling materiału kontynentalnego jest ewidentny w przeszłości geologicznej. Należy zatem tylko ustalić poprawne, geotektoniczne ramy cyklu kontynentalnego.

Punktem wyjścia jest przeanalizowanie na nowo mechanizmu tworzenia się pasm fałdowych. Zadanie to zostało już podjęte w innych, przytaczanych pracach, dając w efekcie tensyjny rozwój tych pasm, z czego również

wynika ekspansja Ziemi. Skutkiem ubocznym jest powrót do odrzuconej przez tektonikę płyt teorii geosynklin, których tensyjna geneza została już wykazana. Zatem ekspandująca Ziemia dostarcza nowego, geotektonicznego kontekstu zarówno dla geosynklin, jak i dla klasycznego, otwartego cyklu geologicznego.

### Literatura

- BARBARIN B. 1999 — A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments types. *Lithos*, 46: 605–626.
- BROWN G.C. 1977 — Mantle origin of Cordilleran granites. *Nature*, 265: 21–24.
- BROWN G.C. & MUSSETT A.E. 1993 — The Inaccessible Earth. Chapman & Hall.
- BURKE K. 1980 — Intracontinental Rifts and Aulakogens. [In:] *Continental Tectonics*. National Academy of Science. Washington.
- CAREY S.W. 1958 — The tectonic approach to continental drift. *Continental Drift: A Symposium*. Geol. Dept. Univ. Tasmania, Hobart: 177–355.
- CAREY S.W. 1976 — The Expanding Earth. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam–Oxford–New York.
- COLEMAN D.S. & WALKER J.D. 1992 — Evidence for the Generation of Juvenile Granitic Crust During Continental Extension, Mineral Mountains Batholith, Utah. *J. Geophys. Res.*, 97: 11011–11024.
- CWOJDZIŃSKI S. 2003 — The tectonic structure of continental lithosphere considered in the light of the expanding Earth theory — a proposal of a new interpretation of deep seismic data. *Polish Geological Institute Special Papers*, 9: 5–79.
- CWOJDZIŃSKI S. 2004 — Mantle plumes and dynamics of the Earth interior — towards a new model. *Prz. Geol.*, 52: 817–826.
- FLINT R.F. & SKINNER B.J. 1997 — *Physical Geology*, 2d ed. John Wiley & Sons.
- GOLD T. 1987 — *Power from the Earth*. Dent, London.
- GÜNZLER-SEIFERT H. 1941 — Persistente Brücke im Jura der Wildhorndecke des Berner Oberlandes. *Eclogae Geol. Helv.*, 34: 164–172.
- HERNDON J.M. 2003 — Nuclear georeactor origin of oceanic basalt,  $^3\text{He}/^4\text{He}$ , evidence, and implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 100 (6): 3047–3050.
- HILGENBERG O.C. 1933 — Vom wachsenden Erdball. Giessmann und Bartsch, Berlin–Pankow.
- HOLMES A. 1965 — *Principles of Physical Geology*. Nelson, London.
- HUTTON J. 1788 — *The Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*, Volume 1. Transactions of the Royal Society of Edinburgh.
- ISAACS B., OLIVER J. & SYKES L. 1968 — Seismicity and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.*, 73: 5855–5899.
- JAMBON A. 1994 — Earth degassing and large-scale geochemical cycling of volatile elements, [In:] Carroll M.R. & Holloway J.R., *Volatiles in Magmas*. *Min. Soc. Am. Rev. Miner.*, 30: 479–517.
- JARKOWSKI J. 1888 — *Vsemirnoje tjadgotenije kak sledstviye obrazowanija vesomoj materii vnutri nebesnych tel*. Wydane przez autora, Moskwa.
- JARKOWSKI J. 1889 — *Hypothese cinetique de la gravitation universelle en connexion avec la formation des elements chimiques*. Chez l'auteur, Moscou.
- JARVIS G.T. & MCKENZIE D. 1980 — Sedimentary basin formation with finite extension rates. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 48: 42–52.
- JOLIVET L., GOFEE B., MONIE P., TRUFERT-LUXEY C. & BONNEAU M. 1996 — Detachment in Crete and Exhumation P-T path. *Tectonics*, 15: 1129–1153.
- KEAREY P. & VINE F.J. 1996 — *Global Tectonics*. Blackwell Science.
- KETTNER R. 1956 — *Všeobecná geologie. I. Stavba zemské kůry*. Nakl. Čs. Ved. Praha.
- KLIMAS K. & KOZIAR J. 2002 — Wadsleyit — „potencjalne“ oceany wody w strefie przejściowej płaszczka Ziemi? *Prz. Geol.*, 50: 594–595.
- KOZIAR J. & JAMROZIK L. 1985a — Tension-gravitation model of the tectogenesis. *Proceeding reports of the XIII-th Congress of Carpatho-Balkan Geological Association*, Poland–Cracov, September 5–10, 1985., Wyd. AGH, Geological Institute: 195–199.
- KOZIAR J. & JAMROZIK L. 1985b — Application of the tension-gravitation model of the tectogenesis to the Carpathian orogen reconstruction. *Proceeding reports of the XIII-th Congress of Carpatho-Balkan Geological Association*. Poland, Cracow, September 5–10, 1985, Wyd. AGH, Geological Institute: 200–203.
- KOZIAR J. & JAMROZIK L. 1991 — Tensyjno-grawitacyjny model subdukcji. Streszczenia referatów wygłoszonych w 1990 r. w PTG Oddz. w Poznaniu. Inst. Geol. UAM.
- KOZIAR J. & JAMROZIK L. 1994 — Tension-gravitational model of island arcs. [In:] Selleri F. & Barone M. (red.), *Proceedings of the International Conference: Frontiers of Fundamental Physics*, Olympia, Greece, September 27–30, 1993; Plenum, New York.
- KOZIAR J. 2003 — Tensional development of active continental margins. *Internationales Kolloquium: Erdexpansion — eine Theorie auf dem Prüfstand*, 24.05–25.05.2003, Ostbayern Schloss Theuern. Technische Universität.
- KOZIAR J. 2004 — Geologia wrocławska a teoria ekspansji Ziemi. *Ochrona Georóżnorodności, Materiały Sesji Naukowej z okazji XV Zjazdu SGWUW*, Wrocław, 18 września 2004. Wyd. ARTES.
- KOZIAR J. 2005a — Tensyjny rozwój orogenów śródlądowych. *Mechanizm. Referaty*, t. XIV, PTG Oddz. w Poznaniu, UAM IG, Poznań: 131–156.
- KOZIAR J. 2005b — Tensyjny rozwój orogenów śródlądowych. *Przykłady regionalne. Referaty*, t. XIV, PTG Oddz. w Poznaniu, UAM IG Poznań: 157–196.
- KOZIAR J. 2006 — Terrany, czyli geologia w krainie duchów. *Referaty*, t. XV, PTG Oddz. w Poznaniu, UAM IG Poznań: 47–98.
- LATIN D. & WHITE N. 1993 — Magmatism in extensional sedimentary basins. *Annali di Geofisica*, XXXVI, N. 2: 123–138.
- LEMOINE M. 1953 — Remarques sur les caracteres et l'évolution de la paleographie de la zone briançonnaise au Secondaire et au Tertiaire. *Bull. Soc. Geol. France*, 3: 105–122.
- LE PICHON X. 1968 — Sea-Floor Spreading and Continental Drift. *J. Geophys. Res.*, 12 (73): 3661–3697.
- LE PICHON X., FRANCHETAU J. & BONIN J. 1973 — Plate Tectonics. *Developments in geotectonics 6*. Elsevier Scient. Publ. Co.
- LINDEMAN B. 1927 — *Kettengebirge Kontinentale Zerspaltung und Erdexpansion*. Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- MCKENZIE D. 1972 — Plate tectonics. [In:] E.C. Robertson (ed.), *The Nature of the Solid Earth*. McGraw-Hill, New York.
- MCKENZIE D. 1978 — Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 40: 25–32.
- OLLIER C.D. 1981 — *Tectonics and Landforms* (2<sup>nd</sup> Ed.). Longman, London. *Tłum. polskie: Tektonika a formy krajobrazu*. Wyd. Geol., Warszawa, 1987.
- OLLIER C.D. & PAIN C.F. 2000 — *The Origin of Mountains*. Routledge, London.
- OLLIER C.D. 2003 — The origin of mountains on an expanding Earth and other hypotheses. [In:] Scalera G. & Jacob K-H. (ed.), *Why expanding Earth?* INGV Publisher, Roma.
- OLLIER C.D. 2005 — Mountain building and orogeny on an expanding Earth. *Boll. Soc. Geol. It., Volume Speciale*, 5: 169–176.
- POTTER P.E. 1978 — Significance and origin of big rivers. *J. Geol.*, 86: 13–33.
- SOSSON M., MARILLON A.C., BOURGOIS J., FERAND G., POUPEAU G. & SAINT-MARC P. 1998 — Late exhumation stages of the Alpujarride Complex (western Betic Cordilleras, Spain): new thermochronological and structural data on Los reales and Ojen nappes. *Tectonophysics*, 285: 253–273.
- STAUB R. 1951 — Über die Beziehungen zwischen Alpen und Apennin und die Gestaltung der alpinen Leitlinien Europas. *Eclogae Geol. Helv.*, 44: 29–130.
- STILLE H. 1944 — *Geotektonische Gliederung der Erdgeschichte*. Berlin.
- STRAHLER A.N. 1963 — *The Earth Sciences*. Harper and Row, New York.
- STUART F.M., LASS-EVANS S., FITTON J.G. & ELLAM R.M. 2003 — High  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in picritic basalts from Baffin Island and the role of a mixed reservoir in mantle plumes. *Nature*, 424: 57–59.
- TARLING D.H. 1978 — *Evolution of the Earth's Crust*. Academic Press, London.
- TRÜMPY R. 1958 — Remarks on the preorogenic history of the Alps. *Geol. Mijnbouw*, 20: 340–352.
- TRÜMPY R. 1960 — Der Werdegang der Geosynclinale. *Geol. Rundschau*, 50: 4–7.
- VAN DER PLUIJM B.A. & MARSHAK S. 1997 — *Earth Structure*. WCB/McGraw-Hill.
- WEGENER A. 1912 — *The Origin of Continents and Oceans*. English translation 1924. Methuen, London.
- WILSON M. 1989 — *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London.

Praca wpłynęła do redakcji 01.09.2006 r.  
Akceptowano do druku 18.12.2006 r.