

MIEJSCA POWSTANIA DWÓCH PROTOKONTYMENTÓW

Cz. II*

Zajmiemy się tutaj odpowiedzią na pytanie postawione w zakończeniu części pierwszej, a mianowicie – czy są dane potwierdzające genezę współczesnych lądów w obrębie dwóch protokontynentów biegunowych? Czy dane te świadczą o istnieniu antypodalnie położonych protokontynentów powstałych na szybko wirującej Ziemi? Odpowiedź twierdząca, którą dałem w pierwszej części artykułu wymaga faktów na jej potwierdzenie. I teraz – już na wstępie – wymienię je w skrócie. Do tych faktów zaliczam: 1) równą powierzchnię obu protokontynentów, 2) kolisty kształt Gondwany, 3) obecność i rozmieszczenie dodatknych planetarnych anomalii grawitacyjnych i ich korelację z położeniem protokontynentów i 4) związek położenia protokontynentów z półkulami aktywności płaszcz.

Zanim szerzej omówimy powyższe fakty wyjaśnimy przedstawiony już podział na lądy Gondwany i Ungavy. Nie został on bowiem w pierwszej części artykułu w pełni uzasadniony. Ma natomiast znaczenie kluczowe, gdyż dopiero jego pozytywne świadectwo daje podstawę do sensownego rozważania pierwszego z wymienionych faktów – równej powierzchni protokontynentów. Dopiero przyjęcie tego podziału daje podstawę, aby dalej móc zasadnie omawiać pozostałe fakty. Teraz więc, w pierwszej kolejności, chciałbym dowieść słuszności podziału na lądy Gondwany i Ungavy.

Jak wiemy, sposób powstania protokontynentów biegunowych powinien teoretycznie sprzyjać ich równej finalnej powierzchni. A zatem współczesne kontynenty, a właściwie ich stare jądra należy zmieścić w dwóch zbiorach mających równą powierzchnię. Które jednak kontynenty umieścić w jednym zbiorze, a które w drugim? Wpierw było tylko intuicyjne przekonanie, że Gondwana, to Afryka i Ameryka

Południowa oraz Indie i kilka mniejszych fragmentów skorupy kontynentalnej – a to przecież stanowi już około połowę najstarszej części kontynentów. Pozostałe więc lądy, owa druga połowa – to lądy Ungavy. Aby nie był to jednak podział aprioryczny powinien on mieć uzasadnienie. Jest nim górotwórczość i odmłodzenie starszych skał podczas orogenezy górnoproterozoicznych i paleozoicznych. Obserwujemy dla tego okresu wyraźne zróżnicowanie obszarów występowania działalności górotwórczej i regeneracji tektonicznej (ryc. 6).

W górnym proterozoiku najwymowniejszym przykładem jest obszar objęty orogenezą kadomijską. Przykład ów sięga czasowo nieco dalej, aż po fazę damarską – 485 Ma (odpowiednik fazy sałairskiej w cyklu kaledońskim). Fałdowanie i metamorfizm faz orogenezy kadomijskiej obejmując znaczne tereny Afryki i Ameryki Południowej, także Indii i Madagaskaru zwraca uwagę swoją rozległością. Utrudnia to, a nawet uniemożliwia – jak uważają niektórzy badacze (np. A.O. Fuller, 1972) – interpretację etapów rozwojowych na platformie afrykańskiej. Badania radiometryczne dowiodły, że tamtejsze skały, niewątpliwie prekambryjskie, zostały odmłodzone, zwłaszcza w czasie ruchów tektonicznych fazy damarskiej, którą cechowała duża intensywność procesów magmatycznych. Fazę tę W.O. Kennedy określił jako panafrykańską (9). Czegoś podobnego nie notujemy na lądach Ungavy. Orogeneza kadomijska przejawiała się tam w pasach umieszczonych przy krawędziach kontynentów. Zasięg i kształt obszarów występowania kadomidów jest aż nadto wymowny, aby dostrzec odmienną tektoniczną historię Gondwany od tektogenezy lądów Ungavy (ryc. 6).

Przejdźmy teraz do paleozoiku. Tutaj również obserwujemy charakterystyczne zróżnicowanie. Zasięg górotwórczości paleozoicznej na lądach Gondwany jest bardzo skromny w stosunku do paleozoicznych orogenezy lądów

* Część I ukazała się w Prz. Geol. 1988, nr 5.

Ungawy, gdzie one są szczególnie intensywne i zajmują dość znaczne obszary. Rozmieszczenie i inne cechy charakterystyczne orogenezy kaledońskich i waryscyjskich łądów Ungawy, w połączeniu z danymi paleomagnetycznymi i paleoklimatycznymi, świadczą o ich dryfie. Paleozoidy Gondwany natomiast, pomimo migracji stref klimatycznych w obrębie tego protokontynentu i danych paleomagnetycznych, rodzą podejrzenie o położeniu stacjonarnym tej olbrzymiej masy łądu, począwszy od czasu jej narodzin. Temu zagadnieniu poświęcimy więcej uwagi nieco dalej. Teraz natomiast przyjrzymy się bliżej orogonom paleozoicznym Gondwany w kontekście uzasadnienia omawianego podziału łądów.

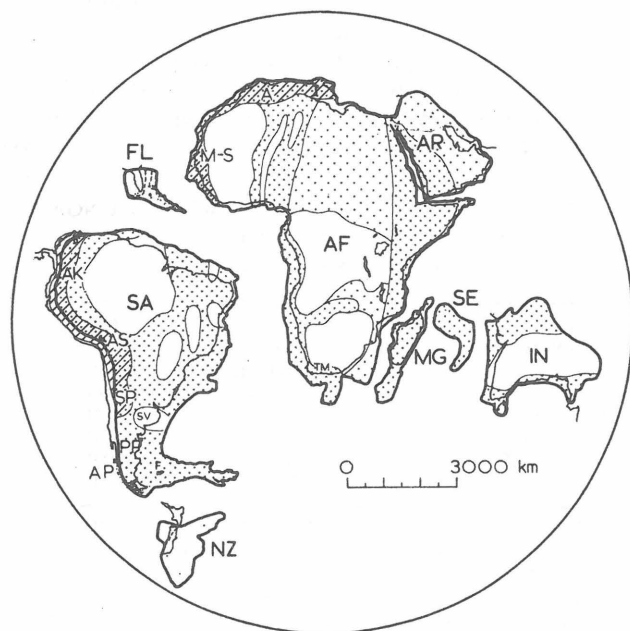
Na ryc. 6 wyróżniono ukośną kreską te obrzeża Gondwany, gdzie procesy tektoniczne paleozoiku wskazują na obecność strefy subdukcji. Omówmy je choć w wielkim skrócie.

Na obszarze Andów Kolumbijskich (AK) i w Andach Środkowych (AS) znajdują się ślady kaledońskiego i waryscyjskiego cyklu orogenicznego. Orogeny paleozoiczne na tym terenie wystąpiły na litosferze typu kontynentalnego (4, 5), która uformowała się dużo wcześniej i sięga swym początkiem prawdopodobnie wieku archaicznego J. Aubouin i A.V. Borrello wyróżnili w Andach Środkowych pasma Kujanidów i Boliwianidów (4), które miały swój cykl geosynkinalny w okresie kambr–dewon z późniejszym wystąpieniem metamorfizmu (13). W Andach Patagońskich (AP), rozciągających się na obrzeżu płyty o tej samej nazwie (PP), nie stwierdzono dotąd łańdowań paleozoicznych i wczesnomezozoicznych. Prawdopodobnie nigdy one tam nie zachodziły. Również struktury pampaskie

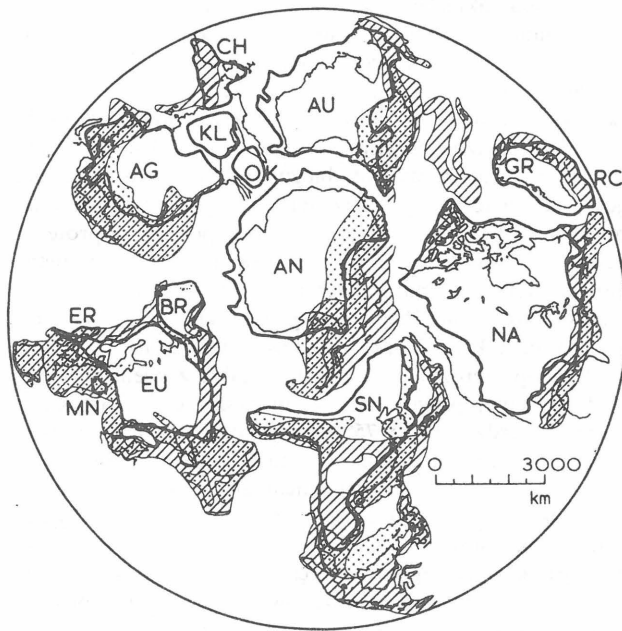
(SP) z biegnącym przezeń pasmem Kujanidów oraz płyta patagońska (PP) nie były objęte w erze paleozoicznej wzmoczoną aktywnością tektoniczną cechującą pasy orogeniczne (10).

Zasługujące na uwagę są młodopaleozoiczne łańdowania i przejawy orogenezy w Serra de la Ventana (SV), na Wyspach Falklandzkich (F) i w Górach Przyładkowych (TM – Table Mountains). Cechy wspólne dla tych trzech obszarów, z których jedną jest synchroniczność orogenezy, pozwalają na ich łączenie w jedno pasmo, którego budowa i przebieg nie są dotychczas zbadane (9). Czy zachodzi jednak związek pomiędzy mobilizmem litosfery a genezą tego pasma? Jego położenie, na wschodnim skraju płyty patagońskiej (PP), choć na przedłużeniu Boliwianidów i Kujanidów, mówi raczej o charakterze epiplatformowym, szczególnie wyraźnym w przypadku Gór Przyładkowych i słabo zaznaczonych tam zjawiskach magmatyzmu i metamorfizmu; także występowanie łańdów o dużych promieniach przemawia za inną przyczyną orogenezy tego pasma niż mobilizm litosfery połączony z subdukcją skorupy oceanicznej.

Przenieśmy się teraz na drugi kraniec Gondwany. Rozciąga się tam pasmo Atlasu (A) oraz pasmo mauretańsko-senegalskie (M–S). Podobnie jak w przypadku Andów oba pasma orogeniczne zostały utworzone na litosferze typu kontynentalnego (6). Czy zachodziła tam orogenna subdukcja litosfery oceanicznej? Na to pytanie możemy dać odpowiedź twierdzącą. Niemal w całym pasmie Atlasu stwierdzono ruchy tektoniczne orogenezy kaledońskiej i waryscyjskiej z towarzyszącymi im procesami magmatyzmu i metamorfizmu. W pasmie mauretańsko-senegalskim natomiast na podstawie danych radiometrycznych notuje



LĄDY GONDWANY



LĄDY UNGAWY

— 1



2



3

Ryc. 6. Zróżnicowanie obszarów występowania orogenezy kadmijskiej i orogenezy paleozoicznych, tworzące dwa zbiory łądów – Gondwana i Ungawy

Fig. 6. Differentiation of areas of occurrence of Cadomian and Palaeozoic orogeneses creating two groups of lands – Gondwana Group and Ungava Group

1 – pierwotna granica kontynentów, 2 – kadomidy, 3 – kaledonidy, i waryscydy. Pozostałe objaśnienia w tekście

1 – primary borders of continents, 2 – Cadomides, 3 – Caledonides, and Variscides. Other explanations – in the text

się tylko przejawy kaledońskiego i waryscyjskiego odmłodzenia. Dopływ ciepła, który to spowodował, wiąże się prawdopodobnie przede wszystkim z bezpośrednim sąsiedztwem strefy akrecji, która wyodrębniła z Gondwany mikrokontynent Florydy i przemieściła go w kierunku Laurencji.

Jak wynika z powyższego przeglądu, z konieczności bardzo skróconego, proces subdukcji przy krawędziach łądów Gondwany zachodził w paleozoiku na dwóch stosunkowo krótkich odcinkach i utworzył część pasa orogenicznego Andów oraz pas orogeniczny Atlasu z jego przedłużeniem w postaci pasma mauretańsko-senegańskiego. Pozostałe odcinki krawędzi łądów Gondwany, a stanowią one zdecydowaną większość, to stabilna strefa kontaktu pomiędzy litosferą oceaniczną a kontynentalną. Była ona taka od narodzin tego protokontynentu aż do momentu jego rozpadu, a częściowo pozostała taka do dzisiaj. A zatem widać, że zasięg orogenezy paleozoicznych łądów Gondwany jest dużo mniejszy i tym się różni zdecydowanie od paleozoicznych orogenezy łądów Ungawy.

Podsumowując stwierdzamy, że zakres terytorialny górotwórczości i odmłodzenia starszych skał podczas faz orogenezy kadomijskiej i orogenezy paleozoicznych jest wyraźnie zróżnicowany w obu przedstawionych zbiorach pierwotnych łądów. Świadczy to o ich odmiennej tektonicznej historii. A więc dokonany tu podział na łądy genetycznie związane z obu protokontynentami jest słuszny. Jego uzasadnienie stwarza teraz podstawę do sprawdzenia równości powierzchni przypisywanej obu zbiorom pierwotnych łądów wywodzących się od Gondwany i Ungawy, a w konsekwencji – oczywiście w pewnym przybliżeniu – także równości powierzchni obu protokontynentów biegunowych.

Kwestia określenia granic tych części kontynentów, które stanowią ich pierwotne jądra, staje się teraz pytaniem najważniejszym. Odpowiadając musimy się ustosunkować do jeszcze innego pytania. Czy tylko te obszary składają się na owe jądra, na których notujemy skały wieku archaicznego, czyli z tego okresu kiedy zostały utworzone protokontynenty biegunowe? Oczywiście, że nie, gdyż na znacznej powierzchni skorupy kontynentalnej powstałej do końca archaiku wystąpiły później, w proterozoiku, wielokrotne odmłodzenia skał w procesach metamorficznych i magmatycznych połączonych z fałdowaniem i górotwórczością. Pierwotne granice kontynentów obejmują więc także obszary o konsolidacji dolno- a nawet środkowoproterozoicznej. Jest to zgodne z oceną Taylora i McLennana, przytoczoną w pierwszej części artykułu, którzy twierdzą, że aż 75% masy kontynentów powstało w archaiku. Ustalono na tej podstawie granice pierwotnych części kontynentów przedstawiłem grubą linią na ryc. 6. Na niektórych odcinkach są one zapewne dyskusyjne. Trudno określić błąd powstały z niezajomości rzeczywistych granic poszczególnych części pierwotnych kontynentów. Jednak pewne jego oszacowanie można przeprowadzić. W przypadku Gondwany błąd ten, jak sędzę, wynosi +1% i -3% w stosunku do jej obliczonej powierzchni, zaś dla Ungawy +3% i -1%. Należy jeszcze wymienić błąd pomiaru, który określiłem na $\pm 1,5\%$. Oba rodzaje błędów – jak widzimy – nie są na tyle duże, aby uniemożliwiły porównanie powierzchni łądów Gondwany i Ungawy.

Zapoznajmy się teraz z wynikami obliczenia powierzchni łądów składających się w przeszłości na dwa biegunowe protokontynenty. Przedstawiono je w tabeli. Wykazane tam łądy i ich oznaczenia korespondują z ryc. 6.

Otrzymany rezultat w postaci sumy powierzchni łądów Gondwany i Ungawy, który można utożsamiać z powierzch-

nią obu protokontynentów, jest zaskakująco zgodny z przewidywaniem teoretycznym. Powierzchnie Gondwany i Ungawy różnią się między sobą tylko o 0,06%! Biorąc pod uwagę przypuszczalne błędy w jej określeniu jest oczywiście kwestią przypadku tak duża zgodność ich powierzchni. Tym niemniej wynik ten jest potwierdzeniem teoretycznych podstaw narodzin protokontynentów biegunowych – Gondwany i Ungawy.

Następnym faktem wymienionym już na wstępie, a świadczącym o realności protokontynentów biegunowych, faktem związanym z ich genezą, jest kolista kształt Gondwany. Na ryc. 7 pokazałem wykonaną przez siebie rekonstrukcję tego protokontynentu. Różni się ona od dotąd opracowanych przede wszystkim brakiem Australii i Antarktydy oraz obecnością Nowej Zelandii w innym miejscu. Przyczynę tej różnicy już znamy. Pozostałe zmiany, a zwłaszcza wzajemne położenie Afryki i Ameryki Południowej, to zagadnienie warte odrębnego artykułu, tutaj jednak nieistotne, gdyż z punktu widzenia kształtu Gondwany różnica to niewielka.

To, na co powinniśmy zwrócić teraz uwagę, to kolista kształt Gondwany. Linia wyznaczająca idealny okrąg, którego środek znajduje się w przybliżeniu w środku masy Gondwany, pozwala dostrzec to w pełni. W miarę regularnie kolista kształt Gondwany obserwujemy na długości około 2/3 jej obwodu, na pozostałej zaś występują zaburzenia w postaci półwyspów (np. Indie, Nowa Zelandia) i zatok oraz wolnych przestrzeni (np. Basen Somalijski – SB, Basen Argentyński – AB). Ta nieregularność ma swoją przyczynę zapewne w zróżnicowaniu warunków termicznych w czasie tworzenia protokontynentu, które nie sprzyjały w rejonie zatok (także wolnych przestrzeni) jego „wytapianiu” z materii znajdującej się w astenosferze. Strumień ciepła wznoszący się z wnętrza Ziemi był w tym rejonie jakby skupiony tworząc półwyspy.

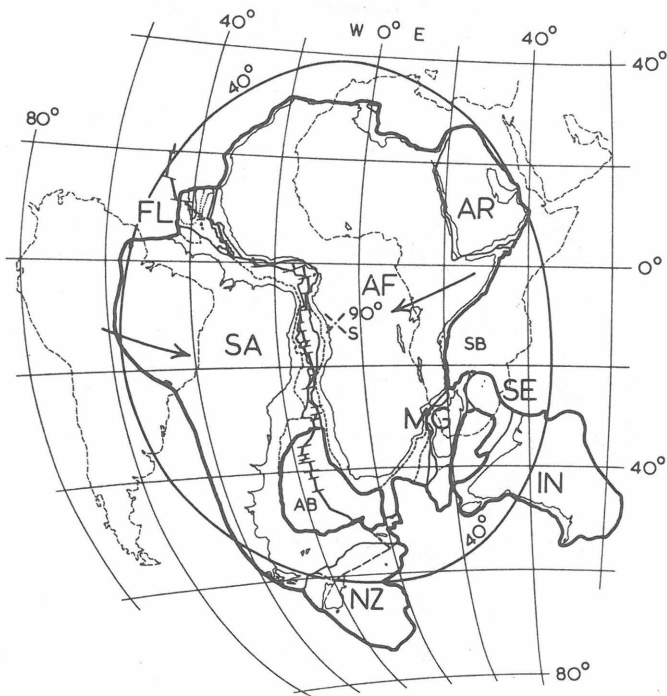
Omawiając górotwórczość paleozoiczną Gondwany, jej niewielki zasięg, zwróciliśmy uwagę na możliwość stacjonarnego położenia tego protokontynentu począwszy

POWIERZCHNIA ŁĄDÓW GONDWANY I UNGAWY

ŁĄDY GONDWANY		POWIERZCHNIA w tys. km ²
Afryka (AF)		34 690
Ameryka Południowa (SA)		21 600
Arabia (AR)		4 550
Floryda (FL)		800
Indie (IN)		6 020
Madagaskar (MG)		1 460
Nowa Zelandia (NZ)		1 880
Seszele (SE)		980
R a z e m		71 980
ŁĄDY UNGAWY		
Ameryka Północna (NA)		17 460
Angara (AG)		6 820
Antarktyda (AN)		14 010
Australia (AU)		9 800
Barentsia (BR)		1 780
Czukotka (CH)		1 510
Eria (ER)		200
Europa (EU)		7 080
Grenlandia (GR)		2 990
Kołyma (KL)		1 210
Moldanubia (MN)		130
Ochotka (OK)		650
Rockall (RC)		520
Sinia (SN)		7 860
R a z e m		72 020

od czasu jego powstania w strefie podbiegunowej. Przemieszczanie się południowego bieguna geograficznego z rejonu NW Afryki do strefy położonej nieco na S od tego lądu, które zaszło w czasie od zlodowaceń w ordowiku do epoki lodowej permokarbonu można tłumaczyć dryfem Gondwany z prędkością około 5 cm/rok. Ten fakt powinien – choć nie musiał – mieć swoje odzwierciedlenie w rozległości i intensywności procesów górotwórczych na znacznej długości krawędzi Gondwany. Jednak niezbyt wielki zasięg tych procesów można też interpretować jako brak dryfu Gondwany i rozciągnąć ów stan na czas od powstania tego protokontynentu aż do jego mezozoicznego rozpadu. Takie wyjaśnienie nie napotyka właściwie na zasadnicze sprzeczności. Prowadzi nas zaś do bardzo interesujących powiązań globalnych faktów. Pójdźmy zatem w tym kierunku.

Jakie było pierwotne położenie Gondwany? Przy jej rozpadzie tak bliskim w czasie, a także wobec braku dryfu przed jej podziałem odpowiedź nie będzie trudna. Na ryc. 7 cienką przerywaną linią zaznaczono obecne położenie Afryki z Arabią oraz usytuowanie Ameryki Południowej. Pomiedzy tymi kontynentami znajduje się atlantycka strefa akrecji, która dokonała największego i ostatecznego podziału Gondwany. Znaczą ją charakterystyczna linia z uskokami transformacyjnymi. Aby określić pierwotne położenie Gondwany wystarczy więc z obecnego miejsca „ściągnąć” Afrykę i Amerykę Południową z powrotem ku strefie akrecji – jak pokazują to strzałki – i wykonać odtworze-



Ryc. 7. Kolisty kształt Gondwany oraz pierwotne położenie tego protokontynentu we współczesnym układzie współrzędnych geograficznych

1 – obecne położenie Afryki, Arabii i Ameryki Południowej, 2 – pierwotna granica Gondwany, 3 – atlantycka strefa akrecji

Fig. 7. Round shape of Gondwana and primary position of this protocontinent in contemporary configuration of geographical coordinates

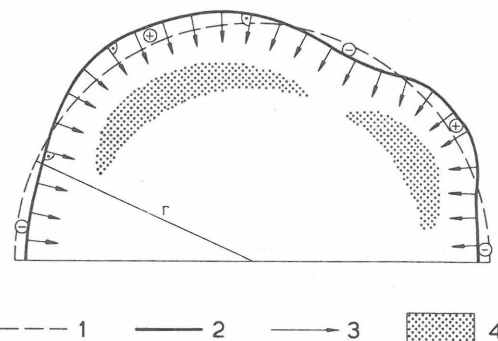
1 – contemporary position of Africa, Arabia and Southern America, 2 – primary boundary of Gondwana, 3 – Atlantic accretion zone

nie połączenia obu lądów w zgodności z tą strefą. Rekonstrukcję wykonaną w ten sposób przedstawia ryc. 7.

Musimy teraz dokonać jeszcze jednego wyboru. Chodzi o charakter stref akrecji. Odpowiedzmy na pytanie: czy strefy akrecji litosfery oceanicznej podczas swojej aktywności przemieszczają się względem sfer Ziemi nie podlegających mobilizmowi, czy przeciwnie, zajmują położenie nieruchome, jako ten element mobilizmu, który, jako jedyny na tę skalę, właśnie wprowadza stosunki mobilne do litosfery? Uważam, zdając sobie sprawę z konsekwencji, jakie to niesie dla teorii mobilizmu i rekonstrukcji dryfu kontynentów, że aktywne strefy akrecji są nieruchome w stosunku do głębokich sfer Ziemi nie podlegających przemieszczeniom poziomym; strefy akrecji litosfery oceanicznej wykazują naturalną stałość położenia. Nie zważając teraz na wpływ takiej opcji dla teorii mobilizmu idźmy we wskazanym kierunku. Wówczas to pierwotne położenie Gondwany można określić we współczesnych współrzędnych geograficznych, co ma miejsce na ryc. 7.

Dopiero teraz możemy przystąpić do rozważań nad trzecim z wymienionych na wstępie faktów potwierdzających istnienie protokontynentów biegunowych. Jest nim obecność i rozmieszczenie dodatknych planetarnych anomalii grawitacyjnych, które korelują z tak wyznaczonym pierwotnym położeniem Gondwany, a tym samym z antypodalnie usytuowaną Ungawą. Wpierw jednak omówimy przyczynę powstania dodatnich i ujemnych elewacji geoidy. Otóż ogólnie można powiedzieć, iż źródłem tego jest zróżnicowanie gęstości materii wnętrza Ziemi, jej sfer stosunkowo bliskich powierzchni.

Dokładna mapa reliefu geoidy skłoniła J.A. Tarakanowa i L.P. Winnika z Instytutu Fizyki Ziemi AN ZSRR do określenia głębokości czynnika rodzącego anomalie grawitacyjne (11, 12). Wykorzystano do tego celu sposób interpretacji zaburzeń pola siły ciężkości, który zaproponował już w 1896 roku rosyjski geodeta F.A. Słudski. Mianowicie powierzchnia geoidy pozwala traktować kierunek siły ciężkości jako wielkość wektorową, zmienną w stosunku do kierunku promienia Ziemi – ryc. 8. Dokładne dane o położeniu geoidy pozwoliły wyciszyć badaczom radzieckim, iż źródło wyniesień i obniżen geoidy w sto-



Ryc. 8. Usytuowanie geoidy w stosunku do elipsoidy, składające się na dodatnie (+) i ujemne (-) planetarne anomalie grawitacyjne wywołane przez masy o dużej gęstości (11, 12)

1 – elipsoida, 2 – geoida, 3 – kierunki siły ciężkości (linii pionu), 4 – masy o dużej gęstości, r – promień Ziemi

Fig. 8. Situation of the geoid in relation to the ellipsoid making up the positive (+) and negative (-) planetary gravitational anomalies induced by masses of high density (11, 12)

1 – ellipsoid, 2 – geoid, 3 – directions of gravity (of vertical lines), 4 – masses of high density, r – radius of the Earth

sunku do elipsoidy znajduje się na głębokości 400–900 km. Tym źródłem są zgrupowania materii o dużej gęstości powodujące anomalie dodatnie i zgrupowania materii o małej gęstości wywołujące anomalie ujemne.

Zapytajmy teraz – czy utworzenie się protokontynentów biegunowych, będących skupieniem materii o małej gęstości, nie wywołało jakiegoś charakterystycznego efektu w głębi Ziemi? Na to pytanie jest odpowiedź twierdząca. Proces powstania Gondwany i Ungawy był procesem symetrycznym nie tylko w skali globu, ale również w obrębie każdej ze stref podbiegunowych. Symetria ta polegała na tym, iż z pierwotnych magm „wytapiały” się zarówno lekkie składniki, które u stropu protoastenosfery utworzyły warstwę kontynentalną, jak też składniki ciężkie, które osiadły u jej spągu, właśnie na głębokości 400–900 km. Była to materia bogata w ciężkie frakcje o znacznej zawartości żelaza i magnezu, a więc o dużej gęstości. Materia ta nie mogła już później opaść niżej, gdyż zasadniczo nie pozwalały i nie pozwolą już na to warunki termiczne wnętrza Ziemi. Z jednej więc strony powstał protokontynent, z drugiej zaś zgrupowanie ciężkiej materii wywołujące dodatnią anomalię grawitacyjną.

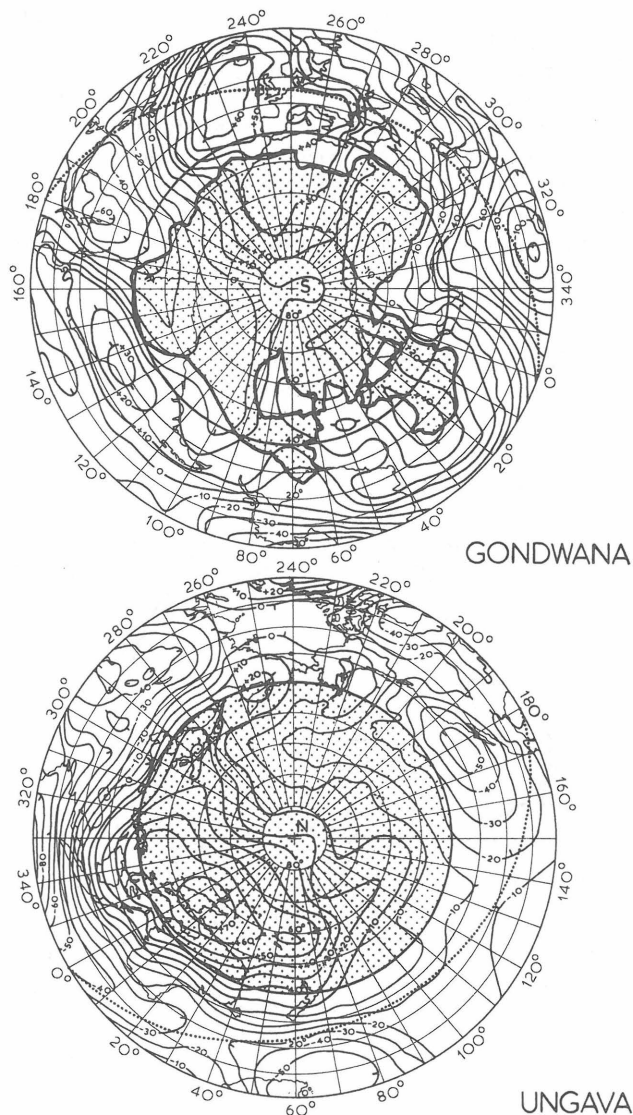
Spójrzmy na ryc. 9. Przedstawiłem tam pierwotne położenie Gondwany i Ungawy na tle planetarnych anomalii grawitacyjnych. Ponieważ nie ma jeszcze rekonstrukcji Ungawy, to zarys tego lądu pokazany jest jako okrąg 40° równoleżnika. Taki sam okrąg otacza Gondwanę. Rycina, w projekcji biegunowej (protobieguny), uwidacznia nam doskonałą wręcz zbieżność położenia protokontynentów biegunowych i dodatnich elewacji geoidy. W przypadku anomalii przynależnej Ungawie jest to łatwo spostrzec. Inaczej rzecz wygląda z bardzo rozczłonkowaną anomalią powstałą wespół z Gondwaną. Ta różnica jest znamienna, lecz zwróćmy teraz uwagę tylko na to, iż przewężenie w zarysie anomalii dodatnich, wraz z występującym tam siodłem w jej pionowym ukształtowaniu ma miejsce prawie dokładnie w środku Gondwany. Jak tłumaczyć nieregularności w rozmieszczeniu dodatnich elewacji geoidy? Szczególnie dotyczy to bardzo rozczłonkowanej anomalii Gondwany. Czy dodatnie anomalie z powodu tych nieregularności świadczą o genezie, jaką im się tu przypisuje? Oto pytania, na które należy teraz odpowiedzieć.

Omawiając kolistą kształt Gondwany zwróciliśmy uwagę na liczne odstępstwa od formy regularnej, które wytłumaczyłem zróżnicowaniem warunków termicznych w czasie tworzenia protokontynentu. Podobne wyjaśnienie proponuję w odniesieniu do nieregularności anomalii grawitacyjnych Gondwany i Ungawy. Jedynym, jak sądzę, najprawdopodobniejszym wyjaśnieniem tych nieregularności jest zmienność warunków termicznych wnętrza Ziemi, z czym jest związana także różnica w czasie pomiędzy rozpadem obu protokontynentów. Omówienie zagadnienia rozpoczniemy od drugiego z wymienionych czynników.

Podział Gondwany nastąpił dopiero w mezozoiku. Trwał zatem ów ląd w pierwotnej formie niemal aż po współczesność. Lądy Ungawy natomiast otoczone pasami orogenicznymi o subdukcyjnej genezie wskazują na dużo wcześniejszy podział tego protokontynentu. Kiedy on nastąpił? Wielu badaczy określa wiek założenia pasów orogenicznych okalających lądy Ungawy na początek środkowego ryfeju, tj. około 1350–1200 Ma (7, 10). To przemawia za tym, że dokonał się wówczas pierwszy podział Ungawy i rozpoczął się dryf jej fragmentów, które następnie również podlegały podziałom. Różnica w czasie pomiędzy początkiem rozpadu Ungawy a rozpadem Gondwany wynosi nieco ponad 1 mld lat. Jest to połowa okresu liczonego od ostatecznego uformowania się protokonty-

nentów w archaiku. A zatem odległość w czasie – znacząca. Miało to niewątpliwie wpływ na stan termiczny astenosfery znajdującej się pod obu protokontynentami. Astenosfera pod Ungawą pozbawiona izolacyjnej otoczki kontynentu stała się wkrótce chłodniejsza niż astenosfera pod Gondwaną. Widzimy zatem, iż tak różny czas rozpadu protokontynentów miał swój duży udział w kształtowaniu warunków termicznych w rejonach zajętych przez ciężkie frakcje i wywołujących dodatnie elewacje geoidy.

W jaki sposób różne i zapewne zmieniające się warunki termiczne wnętrza Ziemi wpłynęły na rozmieszczenie ciężkich pozostałości po „wytopieniu” się protokontynentów? Spójrzmy na ryc. 10. Duże ilości ciepła (Q) gromadzące



Ryc. 9. Położenie Gondwany i Ungawy oraz planetarnych anomalii grawitacyjnych. Rysunek anomalii opracowano na podstawie mapy geoidy wykonanej przez NASA Goddard Space Flight Center w St. Zj. Izolinie reliefu geoidy przeprowadzono co 10 m w stosunku do powierzchni elipsoidy. Układ współrzędnych oparto na biegunowych położeniach protokontynentów, przyjmując lokalizację biegunów geograficznych w ich środku

Fig. 9. Position of Gondwana and Ungava and position of planetary gravitational anomalies. Drawing of anomalies is worked out on the basis of the map of geoid performed by the NASA Goddard Space Flight Center in U.S.A. Isolines of geoid's relief are drawn at every 10 metres in relation to the ellipsoid's surface. System of co-ordinates is based on polar positions of the protocontinents, adopting localization of the geographical poles in their centre

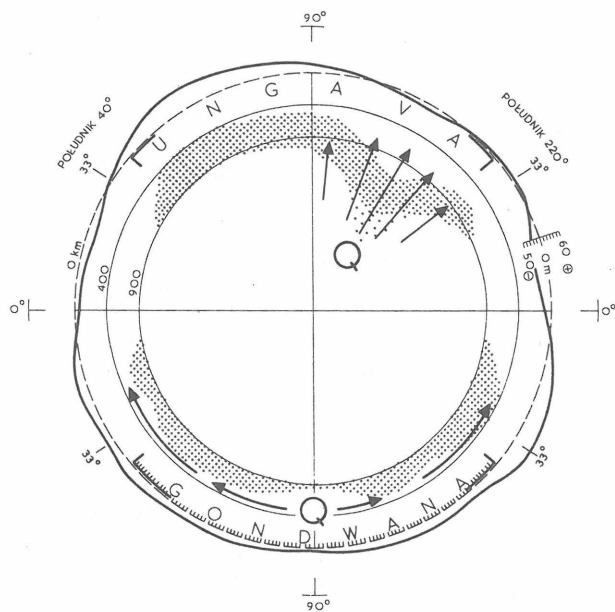
się w astenosferze pod Gondwaną znajdowały ujście nie tylko poprzez litosferę tego protokontynentu pogrubiając i odmładzając ją, ale ciepło to wzbudzało również poziome prądy konwekcyjne w astenosferze odpływając wraz z materią na zewnątrz poza Gondwanę. Prądy te musiały być na tyle potężne, a pojawiając się dosyć często przemieściły masy ciężkich dyferencjatów z miejsca ich pierwotnego złożenia i utworzyły na trzech kierunkach (południki: 25°, 125° i 245°) rozległe półwyspy dodatniej ewalacji geoidy – ryc. 11. Zwróćmy uwagę, że odległości katowe pomiędzy tymi trzema kierunkami są zbliżone do siebie. Sugeruje to, iż ciepło rzeczywiście rozprzestrzeniało się w astenosferze od rejonu leżącego poniżej Gondwany.

Analizę przemieszczeń gęstych mas tworzących dodatnie ewalacje geoidy ułatwia okrąg 33° równoleżnika oznaczony na ryc. 11 grubą przerywaną linią. Opisuje on przypuszczalnie pierwotny zasięg dodatnich anomalii grawitacyjnych. Wyznaczono go na podstawie anomalii grawitacyjnej Ungawy, która najbardziej jest zbliżona do kolistego kształtu podobnego protokontynentom.

Utworzenie zatok anomalii ujemnych w pierwotnie jednolitym obszarze dodatniej ewalacji geoidy wymagało dopływu dużej ilości ciepła spoza astenosfery, prawdopodobnie z głębi płaszczka, ze strefy przyległej do jądra – ryc. 10. Ciepło to spowodowało, iż spąg astenosfery dotąd „twardy” i utrzymujący masy o dużej gęstości stał się bardziej plastyczny i „przepuszczalny” umożliwiając przeniknięcie mas w stronę jądra. Rozległe pióropusze ciepła z głębokiego wnętrza Ziemi pojawiły się w obrębie anomalii Gondwany w dwóch miejscach i w jednym miejscu na obszarze anomalii Ungawy – ryc. 11. Czy można tutaj

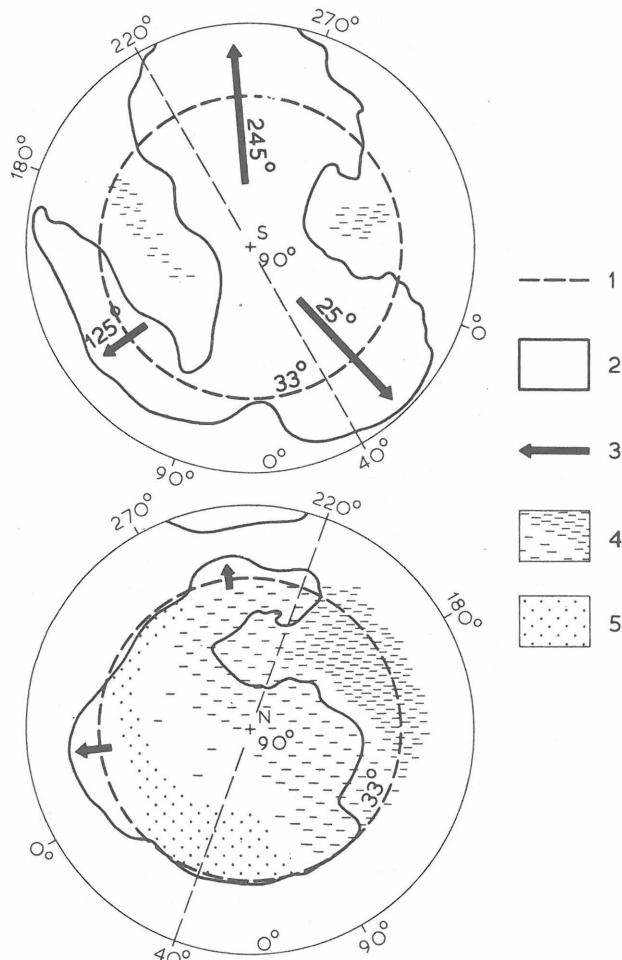
dopatrywać się globalnej asymetrii w rozdziale ciepła? Dodać jeszcze trzeba, że zatoka w anomalii Gondwany na kierunku południka 330° powstała w znacznej mierze skutkiem przemieszczenia gęstych mas w dość różnych kierunkach.

Porównując Gondwanę i Ungawę stwierdziliśmy równość ich powierzchni. Jak wygląda natomiast pod tym względem druga strona procesu tworzenia się protokontynentów, czyli nagromadzenie się gęstych frakcji u spągu astenosfery? Otóż powierzchnia anomalii Gondwany wynosi 142 mln km² i jest aż o 48% większa od powierzchni anomalii Ungawy, która ma tylko 96 mln km². Ta część geoidy, która znajduje się powyżej elipsoidy tworzy z nią



Ryc. 10. Wpływ zróżnicowanych warunków termicznych wnętrza Ziemi (Q) na rozmieszczenie i przemieszczanie materii o dużej gęstości zalegającej nad spągiem dawnej astenosfery. Przekrój wykonano wzdłuż południków: 40° i 220°. Wymieszenie i obniżenie geoidy w stosunku do elipsoidy Ziemi przedstawiono w skali przewyższonej. Objasnienia jak na ryc. 8, pozostałe – w tekście

Fig. 10. Influence of differentiated thermal conditions inside the Earth (Q) on the distribution and translocation of matter of high density overlaying a base of former asthenosphere. The section performed along the meridians 40° and 220°. Elevations and lows of the geoid in relation to the Earth's ellipsoid are shown in the overheighted scale. Explanations as on the Fig. 8, remaining explanations in the text



Ryc. 11. Przemieszczenia poziome i ubytki gęstych dyferencjatów – dalszy ciąg interpretacji pokazanej na ryc. 10

1 – prawdopodobny pierwotny zasięg materii o dużej gęstości, 2 – materia o dużej gęstości w przybliżeniu odpowiadająca zasięgiem dodatniej ewalacji geoidy, 3 – kierunki przemieszczeń gęstej materii, 4 – obszar oddziaływania ciepła na spąg astenosfery powodujący ubytek (pograżanie) gęstej materii, 5 – obszar, na którym gęste dyferencjaty nie zostały naruszone ze swojego pierwotnego położenia

Fig. 11. Horizontal translocations and losses of dense differentiates – continuation of the interpretation shown in the Fig. 10

1 – probable primary range of high – density matter, 2 – high – density matter approximately corresponding with the range of positive geoid's elevation, 3 – directions of translocation of dense matter, 4 – area of thermal influence on the base of asthenosphere causing the loss (subsidence) of dense matter, 5 – area where the dense differentiates were not translocated from their primary position

bryłę o pewnej objętości. Możemy więc mówić o „objętości” dodatnich anomalii grawitacyjnych. Średnia wysokość anomalii Gondwany wynosi 19,5 m, zaś anomalii Ungawy 24,2 m. Daje to „objętość” odpowiednio: 2,77 i 2,32 mln km³. I tu również ilościową przewagę ma anomalia Gondwany, tym razem już dużo mniejszą – 19%.

Brak wyraźnej zgodności w ilościowym porównaniu anomalii obu protokontynentów świadczy o różnicy w ubytku ciężkich dyferencjatów, o ich pogrążeniu się wskutek dopływu ciepła z głębi płaszczu. Większy ubytek nastąpił w przypadku Ungawy. Jeśli bowiem anomalie protokontynentów „ściągniemy” do pierwotnej powierzchni zamkniętej równoleżnikiem 33°, wynoszącej 116 mln km², wówczas średnia wysokość anomalii Gondwany wzrosnie do 23,9 m, zaś anomalii Ungawy zmniejszy się do 20,0 m, co wskazuje, że gęste masy pochodzące z „wytopienia” Gondwany zostały przede wszystkim przemieszczone poza miejsce ich pierwotnego złożenia, zaś takąż materię Ungawy spotkało przede wszystkim pogrążenie w głębi płaszczu (ryc. 11).

Rozważając przyczynę nieregularności dodatnich ewacji geoidy natrafiliśmy na interesujący problem – różnicę w czasie pomiędzy podziałem protokontynentów. Jak do niej doszło? Tutaj wyjaśnienie kryje się również w zróżnicowaniu warunków termicznych wnętrza Ziemi. Otóż pierwotna astenosfera w okresie wzrastania protokontynentów, jak też w czasie późniejszym, miała zapewne dużo wyższą temperaturę niż obecnie. Jej duża plastyczność chroniła protokontynenty przed podziałem, jaki mógł nastąpić przez wznoszące się prądy konwekcji termograwitacyjnej, które dziś tworzą strefy akrecji. Prądy konwekcyjne znajdowały wówczas po prostu łatwiejszą drogę poprzez rozpląnięcie się na boki w bardzo plastycznej astenosferze niż przebicie litosfery protokontynentów znajdujących się powyżej. Dopiero dalsze ochładzanie się globu sprawiło, iż astenosfera pod Ungawą będąc nieco chłodniejsza niż po drugiej stronie globu, mając dużo mniejszą plastyczność niż wznosząca się gałąź konwekcji termograwitacyjnej, nie umożliwiła już łatwego rozpląnięcia się prądu konwekcyjnego, który wznosząc się wyżej przeciął Ungawę przemieszczając jej części w przeciwne strony. Ten fakt prawdopodobnie pogłębił niewielką dotąd asymetrię w reżimie termicznym planety. Być może było to przyczyną, iż możliwość podziału drugiego protokontynentu odsunęła się tak znacznie w czasie.

Zagadnienie omówione powyżej prawdopodobnie ma ścisły związek ze współczesną asymetrią globu podzielnego na półkule aktywności płaszczu (3). Tę współzależność przedstawiono na ryc. 9 i 11, gdzie granica pomiędzy obu półkulami jest zaznaczona linią kropkowaną. Półkula aktywnego płaszczu w dużym stopniu odpowiada półkuli Gondwany, zaś półkula spokojnego płaszczu – półkuli Ungawy. Różnica wynosi 27°, co w stosunku do 90° stanowi 30%. Korelacja ta jest więc dość znacząca i nieprzypadkowa. Ma ona jakiś związek z protokontynentami biegunowymi i świadczy o ich realności, lecz trudno już dziś powiedzieć na czym ów związek polega. Prawdopodobnie współzależność ta ma swoje źródło w termograwitacyjnej konwekcji w płaszczu.

Łączenie anomalii geoidy z dawnym położeniem kontynentów nie jest czymś zupełnie nowym. W 1982 r. ideę związku pomiędzy usytuowaniem kontynentów a globalną izostatyczną anomalią geoidy wysunął Don L. Anderson (1). Anomalia izostatyczna geoidy przez swój ścisły związek z anomalią cieplną różni się od planetarnych anomalii grawitacyjnych tworzących geoidę. Idea Don L. Andersona, która łączy powstanie izostatycznej anomalii geoidy z położeniem w permie dużych mas kontynentalnych rozmieszczonych antypodalnie, różni się istotnie od koncepcji

przedstawionej w niniejszym artykule. Interesujące jest jednak to, że położenie globalnych izostatycznych anomalii geoidy koreluje dość dobrze z pierwotnym położeniem Gondwany i Ungawy, jak też z półkulami aktywności płaszczu i wskazuje tym prawdopodobnie na inny, bardziej skomplikowany, choć również termiczny, związek tych elementów. Zauważmy jednakże, iż izostatyczne anomalie geoidy nie wykazują powiązania z rozmieszczeniem ciepła we wnętrzu Ziemi jak to rysuje nam tomografia sejsmiczna, o której piszą Don L. Anderson i A.M. Dziewonski w 1984 r. (2). Tutaj warto jeszcze dodać, że opracowane ostatnio przez badaczy z Harvard University modele najgłębszych struktur Ziemi (8) bardzo dobrze korelują zarówno z pierwotnym położeniem Gondwany i Ungawy, jak też z półkulami aktywności płaszczu.

Omówione fakty świadczą o realności istnienia protokontynentów biegunowych powstałych wskutek szybkiego ruchu obrotowego Ziemi. Przedstawiony model ich powstania może wnieść nowe spojrzenie na historię termiczną Ziemi, dać bardziej adekwatny wzór konwekcji w płaszczu. Stwarza też podstawy opracowania rekonstrukcji początkowych etapów dryfu kontynentów, w tym fascynujące zadanie odtworzenia układu lądów składających się na Ungawę. Wnosi także, poprzez stacjonarne położenie Gondwany, bardzo istotne zmiany do koncepcji mobilizmu, dając temu programowi naukowemu, który wydaje się stracił już swój impet – nowe siły.

Autor składa podziękowania dr L. Czechowskiemu za uwagi wniesione podczas dyskusji nad koncepcją przedstawioną w artykule.

L I T E R A T U R A

1. Anderson D.L. – Hotspots, polar wander, Mesozoic convection and the geoid. *Nature* 1982 vol. 297.
2. Anderson D.L., Dziewonski A.M. – Seismic Tomography. *Scientific American* 1984 no. 4 vol. 251.
3. Apo B. – Półkule aktywności płaszczu. *Prz. Geol.* 1986 nr 12.
4. Aubouin J., Borrello A.V. – Regard sur la Cordillère des Andes: relais paléogéographique et cycles orogéniques superposés. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 1970 (7) XII.
5. Campbell C.J. – Columbian Andes. [W:] Mesozoic-cenozoic orogenic belts. *Geol. Soc. London* 1974.
6. Chain W.J. – Regionalna geotektonika. T. I. Moskwa 1971.
7. Chain W.J. – Geotektonika ogólna. *Wyd. Geol.* 1974.
8. Giardini D., Xiang-Dong Li, Woodhouse J.H. – Three-dimensional structure of the Earth from splitting in free-oscillation spectra. *Nature* 1987 vol. 325 no. 6103.
9. Kennedy W.O. – The structural differentiation of Africa in the Pan-African (+500 M.Y.) tectonic episode. *Univ. Leeds Res. Inst. African Geol.* 8th Ann. Rept. 1962–1963.
10. Stupnicka E. – Zarys geologii regionalnej świata. *Wyd. Geol.* 1978.
11. Tarakanow J.A., Winnik L.P. – Nowaja interpretacja undulacji geoida na morie. „DAN” 1975 t. 220 no. 2.
12. Tarakanow J.A. – Nierówna powierzchnia okieana. *Priroda* 1976 no. 11.
13. Vincente J.C. – Essai d’organisation paléogéographique et structurale du Paléozoïque des Andes méridionales. *Geol. Rund.* 1975 B. 6 H. 2.

SUMMARY

In the second part of the paper, the author reports a number of facts confirming the existence of antipodally situated protocontinents, which came into being on the quickly rotating Earth.

Presented in the paper facts testify to reality of the existence of polar protocontinents created by quick Earth's rotation. Explained model of their origin may bring a new outlook on the Earth's thermal history and give a more adequate model of convection in the mantle. It gives foundations for describing of reconstruction of initial stages of continental drift, including a fascinating task to reconstruct a configuration of continents forming Ungava. It brings also, through stationary position of Gondwana, the very crucial changes to the mobilism's conception, giving to that scientific program which seems to lose its impetus, the new reinforcements.

РЕЗЮМЕ

Во второй части статьи автор приводит ряд фактов, подтверждающих существование антиподно расположенных протоконтинентов, образованных на быстро вращающейся Земле.

Представленные в этой статье факты свидетельствуют о реальности существования полярных протоконтинентов, образованных вследствие быстрого ротационного движения Земли. Показанная модель их образования может внести новый взгляд на термическую историю Земли, дать более адекватную формулу конвекции в мантии. Она тоже создает основы для восстановления начальных этапов дрифта континентов, в частности решения захватывающей задачи восстановления расположения материков, составляющих Унгаву. Через стационарное положение Гондваны она вносит также существенные изменения в концепции мобилизма, давая новые силы этой научной программе, которая, кажется, потеряла уже свою стремительность.