

Maria ŁANCZONT

Rozwój rzeźby Australii w świetle krzywych hipsograficznych

Развитие рельефа Австралии в свете гипсографических кривых

Evolution of a Relief of Australia Basing on Hypsographic Curves

Krzywa hipsograficzna jest jedną z podstawowych metod kartometrycznych stosowanych w geografii fizycznej. Obrazuje ona graficznie stosunek wielkości powierzchni leżących na różnych piętrach hipsometrycznych do powierzchni całego mierzonego obszaru, a także stanowi podstawę do obliczania wskaźników średniej wysokości i objętości masy skalnej.

Metodą krzywej hipsograficznej posłużono się przy analizie związków ukształtowania powierzchni Australii z budową geologiczną, procesami tektonicznymi i strefami klimatycznymi tego kontynentu oraz wahaniami czynników klimatycznych w jego geologicznej przeszłości. Bardzo pomocny w rozważaniach na temat stadium rozwojowego rzeźby danego obszaru okazał się wskaźnik objętości masy skalnej (Strahler 1952), który ujmuje ilościowo wzajemne relacje między natężeniem procesów endogenicznych i egzogenicznych, kształtujących ten obszar. Materiał liczbowy potrzebny do skonstruowania krzywych otrzymano z pomiarów planimetrycznych powierzchni międzypoziomicowych dokonanych na Mapie Świata 1:2,5 M. W pracy przyjęto z pewnymi modyfikacjami podział Australii na regiony hydrograficzne, przedstawiony w *Atlas of Australian Resources 1952—1967*, jako bardziej logiczny od konwencjonalnego podziału na zlewiska Pacyfiku i Oceanu Indyjskiego oraz konsekwentnie nawiązujący do charakterystycznej fizjografii Australii przypominającej nieckę o podniesionych krawędziach.

Istotną cechą rzeźby Australii jest zasadnicza zgodność struktury i orografii tego kontynentu, która jest z kolei czynnikiem wpływającym na

układ i rozmieszczenie sieci rzecznej. W rezultacie granice regionów hydrograficznych pokrywają się dosyć zgodnie z granicami regionów fizyczno-geograficznych, co z góry określiło podział analizowanych krzywych hipsograficznych obszarów naturalnych typu dorzeczy lub pustyń na trzy grupy związane z Górami Wschodnimi, Wyżyną Zachodnią i Nizinami Centralnymi.

W opracowaniu zastosowano całkową postać krzywej hipsograficznej według Strahlera (1952). W przypadku obszarów naturalnych Au-

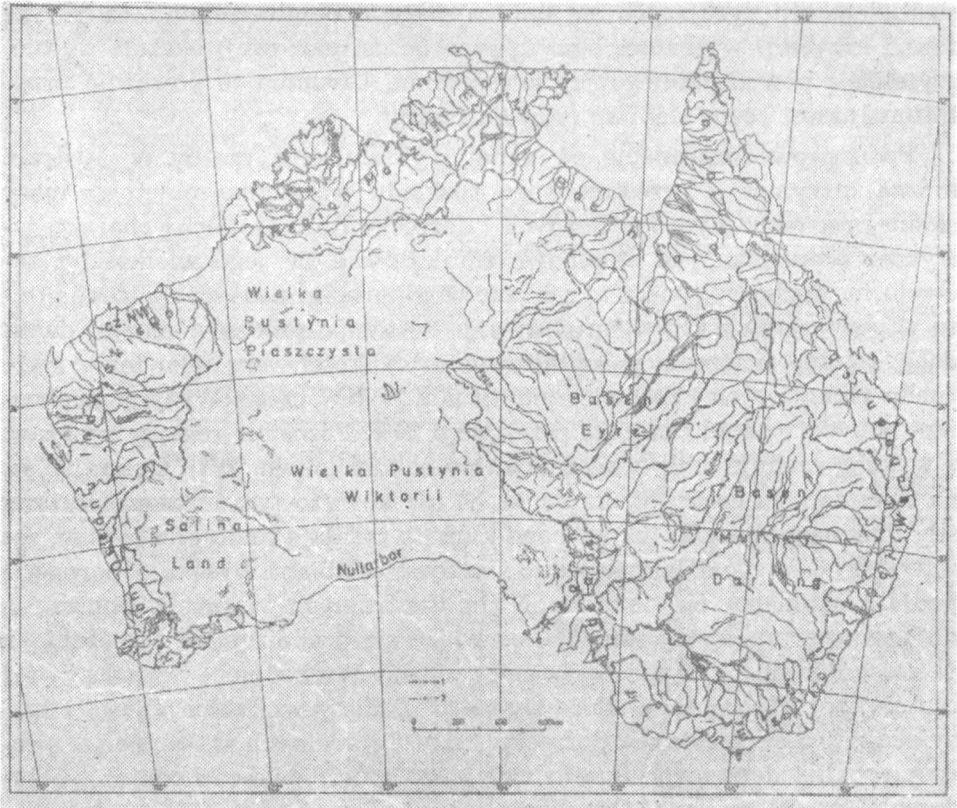
Tab. 1. Średnia wysokość i objętość masy skalnej regionów hydrograficznych, obszarów naturalnych i wybranych dorzeczy Australii na podstawie Mapy Świata 1:2,5 M
Mean altitude and rock volume of hydrographic regions, natural areas and some drainage basins, based on Map of the World (scale 1:2,5 million)

REGION GEOGRAFICZNY	DORZECZE	REGION HYDROGRAFICZNY / ZLEWISKO /	OBJEZAR NATURALNY	ŚREDNIA WYSOKOŚĆ /m n.p.m./	OBJĘTOŚĆ MASY SKALNEJ /m ³ km ² /
GÓRY WSCHODNIE	BURDEKIN			388	30,4
	HUNTER			441	27,8
			WSCHODNI SKŁON GÓR WSCHODNICH	314	14,1
			GÓRY WSCHODNIE	471	17,4
WYŻYNA	GASCOYNE	OCEANU INDYJSKIEGO CZĘŚĆ NW		469	41,7
				390	31,8
	BLACKWOOD	OCEANU INDYJSKIEGO CZĘŚĆ SW		284	67,1
				251	22,6
	WALCOTT			397	47,5
	DRYSDALE			411	47,4
ZACHODNIA	LENNARD			269	29,0
	DALY			184	30,7
	ROPER	MORZA TIMOR		320	34,4
				230	20,0
			WIELKA PUSTYNIA WIKTORII Z WYŻ. NULLARBOR	288	20,3
			WIELKA PUSTYNIA PŁASZCZYSTA	391	28,2
NIZINY			SALINALAND	452	27,7
			OBSZARY BEZODPŁYWOWE WYŻYNY ZACHODNIEJ	346	27,9
		ZATOK SPENCERA I ST.VINCENT /ADELAIDE/		198	17,0
		ZATOKI CARPENTARIA		196	16,0
		DIAMANTINA		140	42,4
CENTRALNE	PINKE			377	25,0
	BULLOW		BASEN JEZIORA EYRE	275	50,2
	MURRAY-DARLING			188	13,6
			272	12,2	
TASMANIA				396	24,5

stralii charakteryzujących się bardzo małymi deniwelacjami tradycyjna forma krzywej (wysokości bezwzględne na osi pionowej) okazała się nieczytelna z powodu silnego jej spłaszczenia. Utrudnia to poważnie przybliżoną nawet ocenę stadium rozwoju rzeźby.

Podstawowe informacje na temat wykształcenia rzeźby w Australii można otrzymać z przestrzennego rozkładu wskaźnika objętości masy skalnej regionów hydrograficznych i dorzeczy (tab. 1). Cechą charakterystyczną wskaźnika jest stopniowe zmniejszanie się jego wielkości z zachodu na wschód. Wynika to z różnic w odporności podłoża skalnego, które w powiązaniu z klimatem wpływają na tempo procesów erozji i denudacji. Istotne znaczenie w kształtowaniu wielkości wskaźnika mają także ruchy pionowe, ich kierunek i amplituda. W NW części Wyżyny Zachodniej objętość cokołu skalnego przekracza 30%. Pozostałe regiony związane z wyżyną cechuje stały wskaźnik masy cokołu (około 20%). Opierając się na tych danych można wykazać, że na płaskowyżowym obszarze wyżyny siły denudacyjne wskutek suchego klimatu działają mało efektywnie, zaś intensywność tego działania jest dodatkowo osłabiana wysoką odpornością podłoża skalnego. Na obszarze Nizin Centralnych wskaźnik obniża się do wielkości mniejszej niż 20%, co wiąże się z obniżeniem tego regionu w stosunku do Wyżyny Zachodniej i Gór Wschodnich, świadczy też o mniejszej odporności podłoża skalnego. Zmiany wielkości objętości masy skalnej poszczególnych dorzeczy Nizin Centralnych wskazują, że procesy erozji i denudacji silniej działają w południowo-zachodniej i południowej części obszaru. Opisywane przez Twidale'a (1969) ujemne ruchy tektoniczne w tej części nizin znajdują potwierdzenie w niskich wielkościach wskaźnika. Zaskakująco mała jest wielkość wskaźnika obliczona dla regionu hydrograficznego wschodniego wybrzeża (14%). Nie wiele wyższy jest wskaźnik dla Gór Wschodnich. Jest to uzależnione od blokowej budowy gór i silnego zróżnicowania litologicznego podłoża warunkujących wzrost intensywności procesów erozji i denudacji. Góry Wschodnie są najsilniej rozcinane w strefie wschodniego skłonu, wyeksponowanego na wilgotne wiatry wiejące znad Pacyfiku. Uwidacznia się to wyraźnie, gdy porównamy wskaźniki objętości masy skalnej dorzeczy położonych na wschodnich i zachodnich zboczach gór.

Zmiany wielkości wskaźnika objętości masy skalnej w poszczególnych regionach w zasadzie nie odpowiadają zmianom ich średniej wysokości. Wielkości do siebie zbliżone stwierdza się na północo-zachodzie Australii (390 m) oraz w regionie wschodniego wybrzeża (314 m). Zestawiając te dane z maksymalnymi wysokościami regionów (odpowiednio 1226 i 2230 m n.p.m.) oraz wskaźnikami objętości masy skalnej znajdujemy potwierdzenie dużej zwartości i masywności Wyżyny Zachodniej w porównaniu z silnie rozbitym i rozciąłym obszarem Gór Wschodnich.



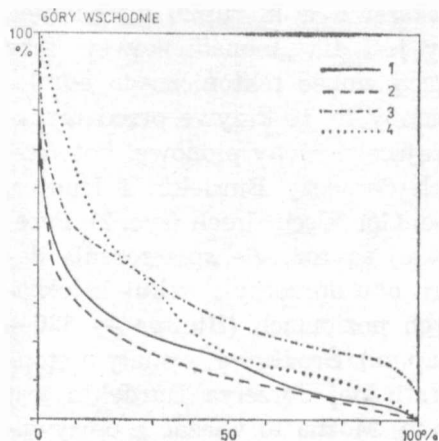
Ryc. 1. Regiony hydrograficzne i wybrane dorzecza Australii; 1 — granice regionów, 2 — działły wodne dorzeczy
 Hydrographic regions and drainage basins in Australia; 1 — region borders, 2 — watersheds of drainage basins

Syntetyczne ujęcie rozwoju rzeźby Australii w sposób wysoce zadowalający można uzyskać analizując krzywe hipsograficzne opracowane dla wybranych regionów hydrograficznych posiłkując się przy tym krzywymi dorzeczy. Wschodnią część kontynentu reprezentują dwie krzywe (ryc. 2): 1) krzywa odpowiadająca regionowi hydrograficznemu wschodniego skłonu kontynentu, 2) krzywa, która odnosi się do całego obszaru Gór Wschodnich, a więc obejmuje także część powierzchni dorzeczy odwadniających obszar do basenu Eyre.

Podobne do siebie krzywe mają wklęsły kształt. W krzywej hipsograficznej Gór Wschodnich na wysokości 450—600 m n.p.m. występuje lekkie spłaszczenie, które można odnieść do zasadniczego poziomu zdenudowanego górotworu hercyńskiego. Brak tego poziomu w krzywej wschodniego zbocza gór należy wiązać z silniejszym przekształceniem tektonicznym tego obszaru pod wpływem plejstocenijskich ruchów pionowych typu blo-

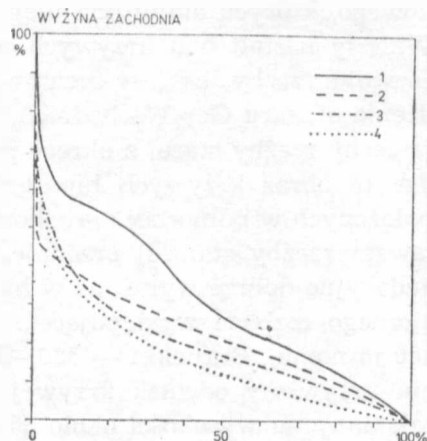
kowego, których amplituda ulegała zwiększeniu w kierunku wschodnim. Wklęsły kształt obu krzywych właściwy jest dla „monadnokowej” fazy rozwoju rzeźby, co jest cechą zaskakującą wobec tektonicznego odmłodzenia obszaru Gór Wschodnich. Oznaczałoby to, że krzywe przedstawiają cechy rzeźby starej z okresu poprzedzającego ruchy pionowe. Potwierdza to obraz krzywych hipsograficznych dorzeczy Burdekin i Hunter, położonych w północnej i środkowej części Gór Wschodnich (ryc. 2). Przejawem rzeźby starszej przedplejstocenijskiej są rozległe spłaszczenia denudacyjne dobrze wyrażone w hipsometrii obu dorzeczy i skutek tektonicznego rozbicia występujące na różnych poziomach (Hunter — 620—450 m n.p.m., Burdekin — 500—300 m n.p.m.). Środkowy, o małym stopniu krzywizny odcinek krzywej hipsograficznej dorzecza Burdekin jest załamany na wysokości około 350 m n.p.m. Można to wiązać z opisywanymi przez Głazowską (1952) tektonicznymi ruchami pionowymi, które podnosząc powierzchnię miocenijskiej penepłeny doprowadziły do wcięcia rzek, a następnie w okresie długiej stabilizacji tektonicznej w pliocenie do rozszerzenia dolin rzecznych. Dla rzeźby młodszej czy też raczej odmłodzonej charakterystyczna jest szeroka strefa wododzielna, która zajmuje 15—20% powierzchni każdego dorzecza, oraz zwiększone spadki w dolnych biegach rzek, gdzie działalność erozyjna została zaktywizowana wskutek ruchów blokowych (dolny wypukły odcinek krzywych). Erozyjne przemodelowanie rzeźby charakteryzuje się większą intensywnością w strefie występowania miękkich, mniej odpornych utworów skalnych (np. lewe skrzydło dorzecza Hunter) poza obszarem zalegania granitowych masywów paleozoicznych i bazaltowych pokryw z trzeciorzędu.

Bardzo istotne znaczenie charakteru ruchów tektonicznych dla rozwoju rzeźby można zaobserwować na przykładzie krzywej dla Wyżyny Zachodniej (ryc. 3). Krzywe hipsograficzne różnych fragmentów powierzchni tej wyżyny tak dorzeczy (Gascoyne), jak i pustyni (Wielka Piaszczysta i Wielka Wiktorii łącznie z płaskowyżem Nullarbor) położonych w NW i środkowej części wyżyny, związanej z tektoniczną jednostką Tarczy Zachodnioaustralijskiej wykazują pewne cechy wspólne (ryc. 4). Górne stromo nachylone odcinki krzywych przedstawiają rzeźbę w starszym stadium rozwoju, zaś dolne o schodkowym kształcie reprezentują rzeźbę młodą, ściślej — odmłodzoną. Słabo nachylone fragmenty dolnego odcinka krzywych wyznaczają położenie dwóch obszarów o jednolitych wyrównanych powierzchniach cokołowych równin, podkreślając zjawisko piętrowości rzeźby. Oba poziomy krzywych są śladem istnienia dwóch cykli planacyjnych, które z kilku wyróżnionych miały największe znaczenie morfogenetyczne i największy zasięg przestrzenny (Timofiejew 1979). Lekko falista powierzchnia starszego plateau została wykształcona w okresie poprzedzającym tektono-eustatyczne obniżenie poziomu morza



Ryc. 2. Krzywe hipsograficzne Gór Wschodnich; 1 — Góry Wschodnie, 2 — skłón Gór Wschodnich, 3 — Burdekin, 4 — Hunter

Hypsographic curves of the East Mts; 1 — East Mts, 2 — eastern slopes of the East Mts, 3 — Burdekin, 4 — Hunter



Ryc. 3. Krzywe hipsograficzne regionów hydrograficznych Wyżyny Zachodniej; 1 — Ocean Indyjski, część NW, 2 — Ocean Indyjski, część SW, 3 — Morze Timor, 4 — Adelaide

Hypsographic curves of hydrographic regions of the West Upland; 1 — Indian Ocean — north-western part, 2 — Indian Ocean — south-western part, 3 — Timor Sea, 4 — Adelaide

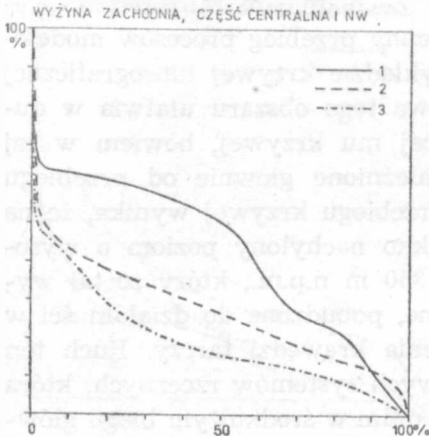
(górnym eocenie — dolnym oligocenie) — Fairbidge, Finkl 1978. W efekcie wyniesienia powierzchni tarczy zostało zapoczątkowane jej rozcinanie na głębokość około 150 m, o czym można wnioskować z różnicy wysokości między dwoma wyróżnionymi w przebiegu krzywych poziomami. W miocenie w warunkach stabilności tektonicznej i pełnej odpływowości tego obszaru wykształcił się młodszy, niższy poziom wypręparowanych przez denudację równin. Z porównania krzywych hipsograficznych pustyni Wiktorii i Piaszczystej (ryc. 4) z krzywą zlewiska Oceanu Indyjskiego, część NW (ryc. 3) wynika, że odpowiednie ich elementy odpowiadające poziomom zrównań położone są na malejących w kierunku centrum kontynentu wysokościach. Różnica sięga 100 m. Wskazywałoby to na osłabienie ruchów pionowych w głąb łądu.

SW część Wyżyny Zachodniej reprezentują dorzecze Blackwood i obszar bezodpływowy Salinaland. Ich krzywe hipsograficzne (ryc. 5) nie wykazują cech policykliczności rozwoju rzeźby, właściwych dla obszarów położonych bardziej na północ. Wynika to z istotnego wpływu, jaki na rozwój SW części wyżyny miało wczesnooligocenne przechylenie i za-

nurzenie południowej krawędzi Tarczy Zachodnioaustralijskiej (V e e v e r s 1978). Bardzo wyraźnie ten odmienny przebieg procesów modelowania rzeźby można prześledzić na przykładzie krzywej hipsograficznej regionu Salinaland. Homogeniczna budowa tego obszaru ułatwia w dużym stopniu interpretację odpowiadającej mu krzywej, bowiem w tej sytuacji zmiany w jej kształcie są uzależnione głównie od przebiegu i charakteru ruchów tektonicznych. Z przebiegu krzywej wynika, że na obszarze Salinaland występuje jeden lekko nachylony poziom o wysokości zmieniającej się od około 500 do 350 m n.p.m., który został wykształcony przez procesy morfogenetyczne, pobudzone do działalności w efekcie wspomnianego skośnego nachylenia krawędzi tarczy. Ruch ten ożywił działalność erozyjną trzeciorzędowych systemów rzecznych, która przejawiała się w wykształceniu głębokich dolin w środkowym biegu głównych rzek (V a n d e G r a a f f i i n n i 1977). Współcześnie najgłębsze odcinki dolin tworzą dna bezodpływowych niecek playi, przedstawionych przez dolny odcinek krzywej. Na pozostałym obszarze, speneplenizowanym w wyniku długotrwałe działającej denudacji kontynentalnej, nachylenie tarczy miało mniejsze znaczenie rzeźbotwórcze. Potwierdza to spostrzeżenia Luisa (K l i m a s z e w s k i 1979) odnośnie do wpływu ruchów skorupy ziemskiej na modelowanie jej powierzchni. Zapoczątkowane w oligocenie osuszanie się klimatu, które objęło najpierw centralną część Wyżyny Zachodniej i stopniowo ogarniało jej peryferie, miało znaczenie zachowawcze dla charakteru rzeźby Salinaland, zaś o osłabieniu denudacji świadczy lekko wypukły kształt krzywej.

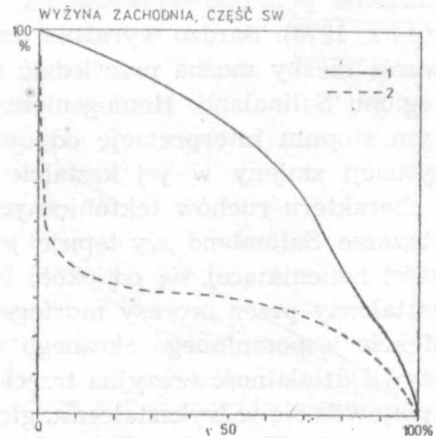
O znacznym odmłodzeniu rzeźby mówi w całości wypukły kształt hipsograficznej dorzecza Blackwood. Dorzecze to stanowi współcześnie fragment starszego i większego systemu odpływowego, który w wilgotniejszych okresach trzeciorzędu sięgał w głąb Salinaland (V a n d e G r a a f f i i n n i 1977). Odmłodzenie rzeźby na obszarze dorzecza przejawia się w słabym wykształceniu działu wodnego i dużych spadkach w dolnej jego części. Zjawiska te uwarunkowały dwa czynniki: 1) zmiana klimatu i związana z nią przebudowa dorzecza, 2) aktywizacja tektoniczna uskoku Darling (południowo-zachodni fragment krawędzi tarczy), warunkująca wzmocnienie procesów głębokiego rozcinania w strefie krawędziowej tarczy, podczas gdy na zapleczu krawędzi suchy klimat hamuje rozwój erozji.

Najbardziej ku północy wysuniętą część Wyżyny Zachodniej stanowi region hydrograficzny Morza Timor. Jest to obszar tektonicznie oddzielony od dosyć jednolitej struktury Tarczy Zachodnioaustralijskiej i rozbity na bloki, charakteryzujący się także zróżnicowaniem geologicznym. Dlatego też analizę rzeźby tego regionu poprzedzono próbą interpretacji kształtu krzywych hipsograficznych wybranych dorzeczy. Zachodnia



Ryc. 4. Krzywe hipsograficzne Wyżyny Zachodniej, część centralna i NW; 1 — Gascoyne, 2 — Wielka Pustynia Piaszczysta, 3 — Wielka Pustynia Wiktorii z wyżyną Nullarbor

Hypsographic curves of the West Upland, central and north-western part; 1 — Gascoyne, 2 — Great Sandy Desert, 3 — Great Victoria Desert with the Nullarbor Upland



Ryc. 5. Krzywe hipsograficzne Wyżyny Zachodniej, część SW; 1 — Blackwood, 2 — Salinaland
Hypsographic curves of the West Upland, south-western part; 1 — Blackwood, 2 — Salinaland

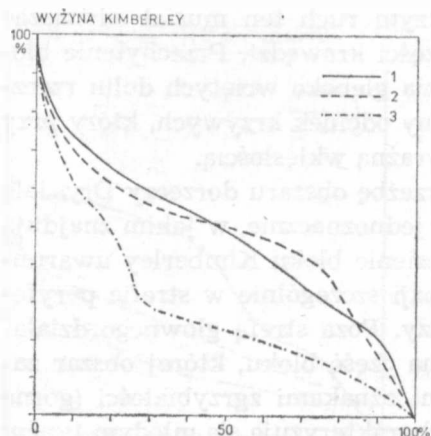
część regionu obejmuje wyżynę bloku Kimberley. Krzywe odwadniających wyżynę dorzeczy Drysdale i Walcott (północna i centralna część wyżyny) oraz Lennard (zachodnia część wyżyny, sąsiadująca z basenem Fitzroy) są zbliżone kształtem tylko w górnych stromych odcinkach (ryc. 6), które wykazują obecność na ich obszarze twardełcowych grzbietów sterzących z powierzchni penepłeny. Są one wyrazem najstarszego etapu modelowania rzeźby na Wyżynie Kimberley. Kolejny etap wiąże się z trzeciorzędowymi pionowymi dyslokacjami, które doprowadziły do wynurzenia bloku Kimberley i wzmożenia procesów głębokiego rozcinania penepłeny wzdłuż dolin rzecznych. Na poszczególnych fragmentach wyżyny ruchy te miały różny charakter. Prawie poziomy przebieg środkowego odcinka krzywej dorzecza Drysdale wskazuje, że jego obszar podniesiony ruchem równomiernym cechuje się większym rozcięciem w dolnej części. Obszar dorzecza Walcott uległ podniesieniu ruchem skośnym, toteż jest bardziej rozcięty w części środkowej. Na obszarze tego dorzecza ruchy pionowe mogły zachodzić kilkakrotnie, co potwierdza bardzo nieregularny przebieg środkowego odcinka krzywej. Ten etap rozwoju rzeźby został wstrzymany wskutek przechylenia północno-zachod-

niej krawędzi bloku Kimberley, przy czym ruch ten musiał odznaczać się większą amplitudą w południowej części krawędzi. Przechylenie bloku Kimberley doprowadziło do zanurzenia głęboko wciętych dolin rzecznych i tej części dorzeczy odpowiada dolny odcinek krzywych, który przy dużym nachyleniu charakteryzuje się wyraźną wklęsłością.

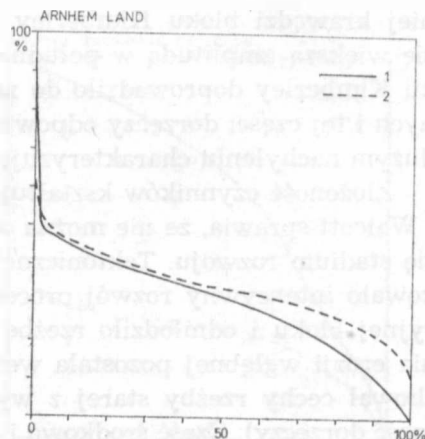
Złożoność czynników kształtujących rzeźbę obszaru dorzeczy Drysdale i Walcott sprawia, że nie można określić jednoznacznie, w jakim znajdują się stadium rozwoju. Tektoniczne podniesienie bloku Kimberley uwarunkowało intensywny rozwój procesów erozji szczególnie w strefie peryferyjnej bloku i odmłodziło rzeźbę dorzeczy. Poza strefą głównego działania erozji wgłębnej pozostała wewnętrzna część bloku, której obszar zachował cechy rzeźby starej z wyraźnymi oznakami zgrzybiałości (górną część dorzeczy). Część środkowa i dolna charakteryzuje się młodym typem rzeźby, gdzie zjawisko jej starzenia się jest hamowane przy współdziałaniu kilku czynników, jak zachowawczy wpływ coraz bardziej suchego w kierunku centrum wyżyny klimatu oraz dużą odpornością materiału skalnego, budującego obszar dorzeczy, który potwierdza wysoka wielkość (blisko 50%) wskaźnika objętości masy skalnej. Tektoniczne przechylenie krawędzi bloku Kimberley miało miejsce w na tyle nieodległej przeszłości geologicznej, że morfologiczne znaczenie podniesienia bazy erozyjnej zostało zrównoważone czynnikami przedstawionymi powyżej, głównie zaś suchym klimatem tego obszaru, wstrzymującym działalność fluwialną rzek.

Dorzecze Lennard stanowi dobry przykład obszaru, którego rzeźba została tylko częściowo zmodyfikowana wskutek ruchów tektonicznych. Obraz jego krzywej hipsograficznej wskazuje, iż rzeźba na tym obszarze przekroczyła stadium dojrzałości w swoim rozwoju. Ruchy tektoniczne, które odmłodziły i przekształciły rzeźbę dorzeczy odwadniających północno-zachodnią część Wyżyny Kimberley, w jej części południowej miały niewielki wpływ na modelowanie rzeźby. W tych warunkach podstawowe znaczenie jako czynniki rzeźbotwórcze miały erozja i denudacja, działające często selektywnie w zależności od odporności podłoża skalnego. Procesy te są odpowiedzialne za dosyć niską wartość wskaźnika objętości masy skalnej (około 30%) w porównaniu z innymi dorzeczami Wyżyny Kimberley.

Wschodnia część zlewiska Morza Timor obejmuje Arnhem Land i dla tego obszaru jako reprezentatywne wybrano dorzecza Dály i Roper (ryc. 7). Odpowiadające im, podobne do siebie, krzywe charakteryzuje wypukły kształt z wyjątkiem odcinka górnego położonego powyżej 300 m n.p.m., którego stromość świadczy o znacznym rozcięciu kambryjskich bazaltów budujących najwyżej położone fragmenty Arnhem Land. Ostre załamanie między nim a następnym odcinkiem krzywych wykazuje zwią-



Ryc. 6. Krzywe hipsograficzne Wyżyny Kimberley, 1 — Walcott, 2 — Drysdale, 3 — Lennard
Hypsographic curves of the Kimberley Upland; 1 — Walcott, 2 — Drysdale, 3 — Lennard



Ryc. 7. Krzywe hipsograficzne Arnhem Land; 1 — Daly, 2 — Roper
Hypsographic curves of the Arnhem Land; 1 — Daly, 2 — Roper

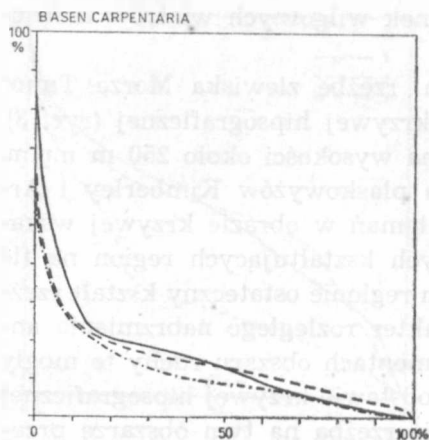
zek z różnicami litologiczno-strukturalnymi między bazaltową pokrywą a podścielającymi ją poziomo zalegającymi warstwami skał osadowych i metamorficznych z górnego proterozoiku. Lekko nachylony dolny odcinek krzywych pozostaje w związku z ruchami tektonicznymi, które przekształcały obszar Arnhem Land. Zachodnia jego część odwadniana przez Daly uległa wypiętrzeniu w postaci ruchu skośnego o zróżnicowanej amplitudzie większej w górnej oraz mniejszej w dolnej części dorzecza. W przypadku dorzecza Roper (wschodnia część Arnhem Land) stwierdzono, że skrzydło wyżyny sąsiadujące z zatoką Carpentaria uległo równomiernemu podniesieniu w całości, co przy poziomym zaleganiu warstw skalnych uwarunkowało rozwój rzeźby właściwej dla obszarów o budowie płytowej, charakteryzującej się silnym rozcięciem na krawędziach. Dorzecza Daly i Roper cechują dosyć wysokie wielkości wskaźnika objętości masy skalnej, co wskazuje na niewielki zasięg przestrzenny na ich obszarze wzniesień typu ostańcowego (stanowiących dział wodny), których obecność świadczy zazwyczaj o zgrzybiałym stadium rozwoju rzeźby. Wypukły kształt krzywych wykazuje wtórną młodość rzeźby dorzeczy, która wiąże się z plioceńskim, kontynuowanym współcześnie wypiętrzeniem półwyspu Arnhem Land, co warunkuje stały proces odmładzania rzeźby. Analizując ten proces nie można pominąć udziału, jaki ma w nim klimat. Większy wskaźnik objętości masy skalnej dorzecza Roper wskazuje, że na tym obszarze denudacja działa mniej intensywnie, co pozostaje w związku z jego położeniem w cieniu opadów za barierą wzniesień

Arnhem Land (przeważający NW kierunek wilgotnych wiatrów monsunowych).

Złożoność czynników kształtujących rzeźbę zlewiska Morza Timor znalazła odbicie w odpowiadającej mu krzywej hipsograficznej (ryc. 3). Słabo zaznaczone spłaszczenie krzywej na wysokości około 250 m n.p.m. odpowiada średniej wysokości położenia płaskowyżów Kimberley i Arnhem Land. Brak śladów wyraźnych załamań w obrazie krzywej wskazuje na odrębność procesów tektonicznych kształtujących region na tle całej Wyżyny Zachodniej. W opisywanym regionie ostateczny kształt rzeźbie nadały ruchy pionowe mające charakter rozległego nabrzmienia antyklinalnego, przy czym w różnych fragmentach obszaru ruchy te mogły być lokalnie nieco zmodyfikowane. Na podstawie krzywej hipsograficznej zlewiska Morza Timor można określić, iż rzeźba na tym obszarze przekroczyła etap równowagi (środkowy, wklęsły odcinek krzywej) i wykazuje cechy monadkowej fazy stadium starości (górny odcinek krzywej).

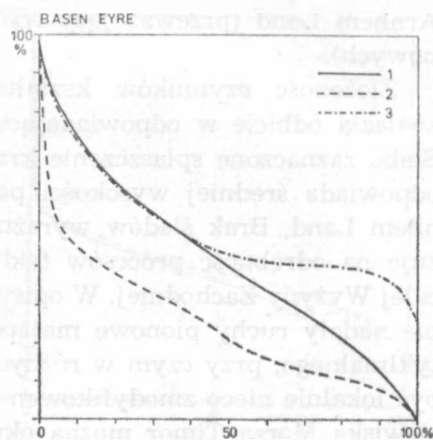
Typowy dla starczego stadium rozwoju rzeźby przebieg ma krzywa hipsograficzna regionu hydrograficznego Adelaide (zlewisko zatok Spencera i St. Vincent) — ryc. 3. W całości wklęsły kształt krzywej podkreśla niektóre cechy rzeźby. Dobrze wykształcona strefa wododzielna nie ma cech rzeźby typu ostańcowego, co wiąże się niewątpliwie z fałdową budową gór Flinders i Lofty. Deniwelacje stopniowo zmniejszają się w miarę spadku wysokości, co ma podłoże w szerokim wykształceniu lekko nachylonych powierzchni erozyjnych wyciętych w proterozoicznych utworach (T w i d a l e 1977). Obszar ten przechodzi w zupełnie płaskie równiny akumulacyjne otaczające jezioro Torrens. Należy zwrócić uwagę na silne wyrównanie tego terenu, przejawiające się we wklęsłym kształcie dolnego odcinka krzywej. Współcześnie jest to obszar niemal bezodpływowy, toteż tego typu rzeźba została wykształcona wcześniej w warunkach pełnej odpływowości tego regionu, a więc pod koniec trzeciorzędu i w plejstocenie.

Duże podobieństwo kształtu cechuje krzywe hipsograficzne regionów hydrograficznych położonych na obszarze Nizin Centralnych (ryc. 8), co pozwala stwierdzić pewne stałe elementy urzeźbienia w poszczególnych regionach. W krzywych występują trzy odcinki, które oddają trzy zasadnicze typy krajobrazu: 1) stromy górny — obszary górskie o dużych deniwelacjach; 2) środkowy, lekko nachylony przedstawia poziomych, rozciętych płaskowierzchołkowych wzgórz, które występują na podniesionych skrzydłach niecek Carpentaria, Eyre, Darling i Murray; interesującą cechą krzywych jest lekkie załamanie w ich przebiegu na wysokości około 100 m n.p.m., które przechodzi w wyraźną wklęsłość końcowego odcinka; załamanie to odzwierciedla wyrażoną w hipsometrii sieć uskoków, gdzie zwiększone spadki odpowiadają za silniejsze rozcięcie



Ryc. 8. Krzywe hipsograficzne regionów hydrograficznych Nizin Centralnych; 1 — Basen Carpentaria; 2 — Basen Eyre, 3 — Basen Murray-Darling

Hypsographic curves of hydrographic regions of the Central Lowlands; 1 — Carpentaria Basin, 2 — Eyre Basin, 3 — Murray-Darling Basin



Ryc. 9. Krzywe hipsograficzne basenu Eyre; 1 — Diamantina, 2 — Finke, 3 — Bullock

Hypsographic curves of the Eyre Basin; 1 — Diamantina, 2 — Finke, 3 — Bullock

terenu; 3) końcowy odcinek krzywych odpowiada płaskim powierzchniom równin napływowych, których granice wyznaczają wspomniane linie dyslokacyjne; wklęsły jego kształt świadczy o tym, że ruchy tektoniczne, które nadały współczesny kształt rzeźbie tych terenów, miały charakter ruchów ujemnych.

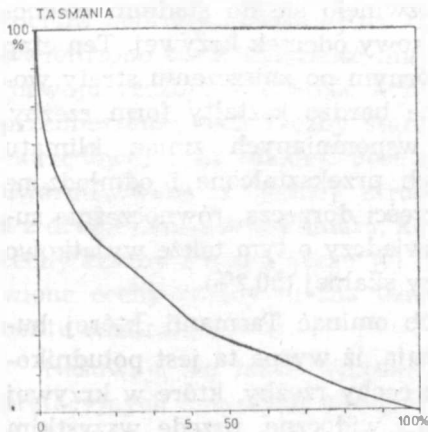
Zwraca uwagę rozbieżność kształtu krzywych hipsograficznych basenu jeziora Eyre (ryc. 8) i poszczególnych dorzeczy odwadniających ten obszar. Jest to uwarunkowane podwójnie. Rzeki w dolnych częściach dorzeczy wskutek suchego klimatu rozpraszają się i gubią wody w utworach aluwialnych otaczających jeziora i praktycznie nie mają wykształconych koryt oraz nie posiadają ujścia, co sprawia, że obszar dorzeczy nie obejmuje terenów centralnej części basenu Eyre. Słabo rozwinięte o małych deniwelacjach działy wodne lub nawet ich brak (między Diamantyną a Georginą) nie sprzyjają działalności erozyjnej rzek. Rzadko występujące wody powodziowe po deszczach nawalnych mają podstawowe znaczenie w kształtowaniu morfologii dorzeczy, szczególnie w środkowej i północnej części basenu Eyre. Osadzają one niesiony materiał skalny bardzo szybko nie tyle wskutek zmniejszania się spadku, co infiltracji i parowania. W efekcie tych procesów materiał skalny jest akumulowany w dolnej części dorzeczy. Jako przykład można wymienić do-

rzeczce Diamantyny, którego obszar jest generalnie obniżany i spłaszczany, przy czym procesy denudacji (dorzecze górne) i akumulacji (dorzecze dolne) są równoważne. Kształt krzywej hipsograficznej dorzecza Diamantyny (ryc. 9) i wysoki wskaźnik objętości masy skalnej (42,4%) wskazują, że dorzecze to znajduje się w stadium równowagi.

Druga przyczyna rozbieżności kształtu krzywych regionu Eyre i dorzeczy tego regionu leży w tym, że charakter rzeźby poszczególnych dorzeczy został określony lokalnymi różnicami w odporności podłoża i ruchami tektonicznymi o mniejszym zasięgu. Dotyczy to szczególnie różnic między dorzeczami zachodniego (Finke) i wschodniego (Bullow) skrzydła basenu.

Bardzo złożony jest kształt krzywej hipsograficznej dorzecza Finke (ryc. 9) położonego na pograniczu dwóch jednostek geograficznych: Nizin Centralnych i Wyżyny Zachodniej. Trzy górne odcinki krzywej (1500—900, 900—550, 550—480 m n.p.m.) odpowiadają kolejno: 1) silnie erozyjnie rozciętym masywom Musgrave i Macdonnell; 2) niższym bardziej zniszczonym partiom gór otaczających szkieletowe ostańce; 3) rozległym zrównaniom podgórskim ścinającym skały od kambriu po karbon.

Wyraźne załamanie krzywej między 480 a 280 m n.p.m. odpowiada linii progu tektonicznego oddzielającego obszar Wyżyny Zachodniej od basenu Eyre. Na wschód od linii progu dorzecze wkracza na obszar basenu. Mały zasięg występowania na tym terenie osadów trzeciorzędowych i niemal całkowity brak utworów czwartorzędu powszechnie występujących na pozostałym obszarze basenu Eyre wskazują, że procesy rozcinań i denudacji działały bardziej intensywnie. Jako czynnik sprzyjający temu zjawisku należy wymienić plejstocenijskie ruchy tektoniczne (Twarda i Dale 1969), w wyniku których zachodni brzeg jeziora Eyre uległ obniżeniu wzdłuż linii uskoku. Obniżenie bazy erozyjnej dla Finke doprowadziło do zwiększenia spadku, a zatem zaktywizowania procesów erozji.



Ryc. 10. Krzywa hipsograficzna Tasmanii
Hypsographic curve of Tasmania

Dobrze to oddaje wypukły w końcowym odcinku kształt krzywej, korespondujący ze wspomnianym uskokiem.

Złożona historia rozwoju rzeźby w dorzeczu Finke uniemożliwia jednoznaczne określenie stadium rozwoju. Ogólna tendencja krzywej do przybierania kształtu wklęsłego, jak również niski wskaźnik objętości masy skalnej wskazują, że dorzecze to znajdowało się w stadium rozwoju zbliżającym się do schyłku dojrzałości. Górnotrzeciorzędowe i czwartorzędowe ruchy pionowe, w wyniku których zwiększyły się deniwelacje w środkowej i dolnej części dorzecza, wpłynęły na odmłodzenie rzeźby. W rezultacie krzywa w dolnym odcinku nie posiada kształtu wklęsłego, przy czym załamania w jej przebiegu świadczą o zahamowaniu procesów erozji wskutek suchego klimatu.

Dorzecze Bullow znajdujące się we wschodniej części regionu Eyre ma postać basenu z odpływem wewnętrznym. Jego krzywa hipsograficzna składa się z trzech odcinków (ryc. 9). Odcinek górny jest lekko wklęsły o nieznacznym nachyleniu, co mówi o słabo zaznaczonej szerokiej strefie wododziałowej, charakteryzującej się małym rozczłonkowaniem. Środkowy odcinek krzywej (230—200 m n.p.m.) powtarza kształt typowy dla krzywych większości dorzeczy basenu Eyre odpowiadający słabo nachylnym ku środkowej części dorzecza nizinom akumulacyjnym. Końcowy odcinek krzywej jest wypukły o dużym stopniu krzywizny, co należy interpretować jako efekt głównie zmian klimatycznych w czwartorzędzie. Rzeka Bullow, stanowiąca uprzednio dopływ Darling, wskutek stopniowego osuszania się klimatu utraciła kontakt z rzeką główną, czego bezpośrednim następstwem było zawieszenie odcinka ujściowego Bullow nad doliną Darling i zmiana stosunków spadkowych w dolnej części dorzecza. Krzywa hipsograficzna przybrała wypukły kształt w dolnym odcinku. Przebieg krzywej dorzecza Bullow oddaje złożony rozwój rzeźby na tym obszarze. W warunkach ciepłego wilgotnego klimatu dorzecze w wyniku swobodnie działającej denudacji rozwinęło się do stadium równowagi, prezentowanego przez górny i środkowy odcinek krzywej. Ten etap rozwoju rzeźby mógł być zjawiskiem wtórnym po zniszczeniu strefy wododziałowej, o czym świadczą złagodzone bardzo kształty form rzeźby. Dorzecze zostało następnie w wyniku wspomnianych zmian klimatu i (prawdopodobnie) ruchów tektonicznych przekształcone i odmłodzone poprzez zwiększenie spadków w dolnej części dorzecza, równocześnie suchy klimat hamuje jego dalszy rozwój. Świadczy o tym także wyjątkowo wysoka wielkość wskaźnika objętości masy skalnej (50,2%).

Analizując rzeźbę Australii nie sposób ominąć Tasmanii, której budowa geologiczna i ukształtowanie wskazują, iż wyspa ta jest południkowym przedłużeniem Gór Wschodnich. Te cechy rzeźby, które w krzywej hipsometrycznej Gór Wschodnich są słabo widoczne, przede wszystkim

powierzchnia szczytowa zdenudowanego górotworu hercyńskiego, w krzywej Tasmanii są znacznie lepiej wyrażone.

Na Tasmanii występują dwa typy krajobrazów dobrze oddane przez poszczególne odcinki krzywej: 1) odcinek górny stromy 1617—700 m n.p.m. odpowiada wysokim grzbietom górskim wykształconym w utworach prekambriu; 2) odcinek środkowy mniej nachylony, prosty 700—400 m n.p.m. wyraża denudacyjny płaskowyż z jurajskich dolerytów. Tasmania została w górnym plejstocenie zlodowacona, prawdopodobnie trzykrotnie (Relief Ziemi 1967), lecz występujące na wyspie formy akumulacji i erozji lodowcowej nie znajdują odzwierciedlenia w obrazie krzywej jako zbyt małe, aby mogły zostać wyrażone w przyjętym dla Mapy Świata 1:2,5 M cięciu poziomicowym. W tej sytuacji krzywa wskutek generalizacji rzeźby wykazuje jedynie strukturalnie uwarunkowane jej cechy. Jednocześnie porównując krzywe hipsograficzne Tasmanii i Gór Wschodnich można wysunąć wniosek, że zlodowacenie miało znaczenie zachowawcze dla tych podstawowych cech rzeźby. W czasie gdy Tasmania ulegała zlodowaceniowi, w położonych w niższych szerokościach geograficznych Górach Wschodnich lodowce rozwijały się lokalnie i główny wpływ na modelowanie rzeźby miała działalność erozyjna rzek.

Dolny wklęsły odcinek krzywej hipsograficznej Tasmanii przedstawia zatopioną w postglacjale strefę krawędziową płaskowyżów wyspy. Strefa ta jest silnie rozcięta dolinami rzek często o założeniach tektonicznych, które zostały w plejstocenie przegłębione przez lodowce rozprzestrzeniające się poza krawędź płaskowyżów. W kształcie dolnego odcinka krzywej hipsograficznej Tasmanii można doszukać się analogii z krzywymi dorzezy Drysdale i Walcott, gdzie podniesienie się bazy erozyjnej było z kolei uwarunkowane tektonicznie.

Podsumowując przedstawione krzywe hipsograficzne obszarów naturalnych Australii można wnioskować, że ich przebieg odzwierciedla wpływ ruchów skorupy ziemskiej na kształt rzeźby danego obszaru, przy czym stwierdzono także zależność między charakterem tych ruchów i stadium rozwoju rzeźby. Większość krzywych wykazuje poprzez swoje kształty przemieszanie cech rzeźby starej, trzeciorzędowej lub nawet przedtrzeciorzędowej oraz młodej. Jest to jednak młodość specyficzna, wtórna, uwarunkowana z jednej strony pionowymi ruchami tektonicznymi, a z drugiej suchością klimatu, konserwującego zarówno stare, jak i młode cechy rzeźby i hamującego jej dalszy czy też szybszy rozwój. Przedstawione cechy rzeźby można uznać za wiodące dla rzeźby całego kontynentu Australii.

Nasuują się także wnioski ogólne, które dotyczą możliwości interpretacyjnych krzywych hipsograficznych oraz opracowanych na ich podstawie wskaźników objętości masy skalnej.

1. Zaobserwowana w warunkach australijskich zależność wielkości wskaźników wydzielonych obszarów od ich struktury i procesów tektonicznych kształtujących je wyraża się spadkiem tej wielkości w przypadku dorzeczy rozwiniętych na obszarach charakteryzujących się złożoną i zróżnicowaną morfostrukturą (Góry Wschodnie) oraz dorzeczy położonych na granicy regionów fizyczno-geograficznych o odmiennej geologii i tektonice (niektóre dorzecza położone na obszarze Nizin Centralnych). Wskaźniki objętości masy skalnej mają wyższe wielkości w przypadku dorzeczy, w których rozwój rzeźby przebiegał w warunkach dużej stabilności tektonicznej, to znaczy na obszarach podlegających jedynie wielkoskalowym ruchom pionowym.

2. Wielkość wskaźników wykazuje też pośredni wpływ klimatu na rozwój rzeźby i wyraża się ich wzrostem w warunkach coraz suchszego klimatu.

3. Wielkość wskaźnika dla danego stadium rozwoju rzeźby nie jest stała. Im mniejsze i bardziej proste dorzecze, tym większa jest wielkość wskaźnika dla określonego stadium rozwoju. Dlatego też ocenę stadium rozwoju rzeźby można przeprowadzić głównie na podstawie analizy kształtu krzywej hipsograficznej danego obszaru naturalnego, przyjmując zmiany wielkości wskaźnika objętości masy skalnej jako czynnik pomocniczy.

LITERATURA

- Fairbidge R. W., Finkl Ch. W. 1978, Geomorphic analysis of the rifted cratonic margins of Western Australia. *Zeitschr. f. Geomorph.* 22, 4, s. 369—390.
- Глазовская М. А. 1952, Пoczwiенно-гeогpафическij очерк Австралии. Gosud. Izdat. Geograf. Lit., Moskwa.
- Klimaszewski M. 1978, Geomorfologia. PWN, Warszawa.
- Riefief Ziemi. Morfostruktura i morfoskulptura. 1967, Akademiya Nauk SSSR, Institut Geografii, Izdat. Nauka, Moskwa.
- Strahler A. N. 1952, Hypsometric analysis of erosional topography. *Bull. Geolog. Soc. Am.*, 63, 11, s. 1117—1141.
- Тимoфeеw D. A. 1979, Пoверхности выравнивания суши. Izdat. Nauka, Moskwa.
- Twidale C. 1969, O kartirowanii neotektonических движенiй w жунож Австралии. [w:] Новejšыje движенiя, вулканизм и землетрясения материков и dna океанов (Progress report on the mapping of neotectonic movements in South Australia). VIII Kongress INQUA, Paris.
- Twidale C. 1977, L. C. King's "Planation remnants upon high lands". *Discussion. Zeitschr. f. Geomorph.*, 21, 4, s. 118—122.
- Van de Graaff W. i inni 1977, Relict Early Cainozoic drainages in Arid Western Australia. (*Zeitschr. f. Geomorph.*, 21, 4, s. 379—400.
- Виеwеиs J. J. 1978, Западная континентальная окраина Австралии. [w:] Геология континентальных окраин. II (The Geology of Continental Margins). Red. Burk C., Drake C., Moskwa, s. 315—326.

РЕЗЮМЕ

Одним из основных картометрических методов применяемых в статистически-морфометрическом анализе поверхности является гипсографическая кривая. Этот метод послужил для попытки указания и определения связей формирования поверхности Австралии с геологическим строением, тектоникой и климатическими зонами этого континента, а также с колебаниями климатических факторов в его геологической истории. Работа проводилась в пределах бассейнов, натуральных регионов типа пустынь и гидрографических регионов. Исследовались тоже показатели средних высот и объемов скальной массы (А. Strahler, 1952).

Величины показателей объема скальной массы избранных районов Австралии показывают отчетливо связь с их структурой и тектоническим развитием. Эта зависимость выражена падением объема скальной массы в случае бассейнов расположенных на границе физико-географических регионов и бассейнов развитых в районе сложной и дифференцированной морфоструктуры. Показатели объема скальной массы имеют большие величины в случае бассейнов расположенных в тех районах, в которых развитие рельефа происходило в условиях большой тектонической стабильности, а тектонические движения имели лишь характер больших масштабных вертикальных движений. Величина показателей косвенно указывает на влияние климата на развитие рельефа и выражается их ростом в условиях поступающей засушливости климата.

На основании гипсографических кривых Австралии можно заключить, что их ход отражает влияние движений земной коры на характер рельефа данного района. Учитывая характер рельефа кривые можно разделить на три группы.

1) Кривые вогнутые с второстепенными изгибами — соответствуют районам, рельеф которых формировался в условиях интенсивной денудации и подвергающимся отрицательным тектоническим движениям небольшого размера.

2) Выпуклые кривые или ступенчатые часто с крутым верхним отрезком, соответствующим более или менее разрушенной приводоразделной зоне. Эти кривые предоставляют рельеф районов, которые омолодились в результате действия больших масштабных положительных тектонических движений, одно — или многократных, где развитие рельефа тормозит сильно упорное основание, часто гомогенного, а также сухой климат.

3) Кривые с выпуклой средней частью или горизонтальные в нижней части вогнутые указывают на сложность тектонических процессов формирующих район. Можно предполагать, что здесь имели место как положительные так и отрицательные движения с дифференцированной на равномерное движение (epi bloc) и косое движение. Изменения базиса эрозии и наклона обуславливают пространственные различия интенсивности эрозионных процессов рек.

Из анализа кривых гипсографических Австралии вытекает, что большинство из них указывает своими чертами на перемешание черт старого рельефа из начала третичного периода или даже дотретичного и молодого. Однако это молодость вторичная, обусловленная вертикальными тектоническими движениями и сухостью климата, консервирующего как древние так и молодые черты рельефа и регулирующего скорость развития рельефа.

SUMMARY

A hypsographic curve is a principal cartometric method applied for a statistic-morphometric analysis of a morphology of the area. This method was used to prove and define the connections of the morphology of Australia with a geologic structure, tectonic processes and climatic zones of this continent as well as climatic fluctuations in the past. This work was undertaken for drainage basins, desert-like natural regions and hydrographic regions. Indices of mean altitude and rock volume were also applied (Strahler 1952).

The rock volume indices for some parts of Australia are distinctly connected with their structure and tectonic evolution. This dependence is expressed by a smaller rock volume in the drainage basins located at borders of physico-geographical regions but also in the drainage basins with a complex and varying morphostructure. The indices are greater for drainage basins in the areas where a relief evolution occurred at a high tectonic stability, only subjected to large-scale vertical movements. The values of rock volume indices proves also indirectly an influence of the climate on a relief development and is expressed by their increase in a dryer climate.

The hypsographic curves of Australia enable to draw a conclusion that they reflect an influence of earth crust movements on morphology of the area. Taking into account their shape, the curves can be divided into three principal groups and obviously the intermediate forms as well.

1. Concave curves with secondary bends — they correspond with areas, a morphology of which as developed due to intensive denudation and subjected to negative tectonic movements of a small extent.

2. Convex or steplike curves, usually with a steep upper fragment corresponding to the less or more destructed watershed zone. These curves present the areas that have been rejuvenated due to large-scale positive tectonic movements (single or repeated), in which a relief development is retarded by a resistant — frequently homogeneous-bedrock and a dry climate.

3. Curves that are convex or horizontal in their middle parts and convex at the bottom. They point out a complexity of tectonic processes in the area. Negative as well as positive movements seem to occur there, with a differentiation to steady (i.e. en bloc) and oblique movements. Changes of the erosion base level and the slope result in a spatial differentiation of intensity of the fluvial erosion.

The analysis of hypsographic curves of Australia proves that most of them present in their shapes a mixture of features of an ancient (of Tertiary or even pre-Tertiary age) and young relief. But this youth is a secondary one, resulting from vertical tectonic movements and dryness of a climate that conserves ancient and fresh relief features as well as controls the rate of a relief evolution.