

JACEK JANIA  
TADEUSZ SZCZYPEK\*

## KARTOWANIE GEOMORFOLOGICZNE OTOCZENIA FIORDU HORNSUND NA PODSTAWIE INTERPRETACJI ZDJEĆ LOTNICZYCH

### WSTĘP

Rejon Hornsundu na południowym Spitsbergenie został w ostatnich latach objęty systematycznymi badaniami geomorfologicznymi, których celem było wykonanie syntetycznego opracowania kartograficznego. Zespół badaczy pod kierunkiem prof. Andrzeja Karczewskiego zestawił wyniki specjalnych badań terenowych z lat 1979 i 1980 oraz wcześniejsze materiały polskich ekspedycji. Rezultatem tych poczynań jest mapa geomorfologiczna w podziałce 1 : 50 000 (K a r c z e w s k i i in., 1980), obejmująca obszar od Lodowca Torella na północo-zachodzie po lodowiec Olsok na południu i zatokę Brepolen na wschodzie (rys. 1). Jest to pierwszy jednolity obraz rzeźby obszaru badań polskich wypraw.

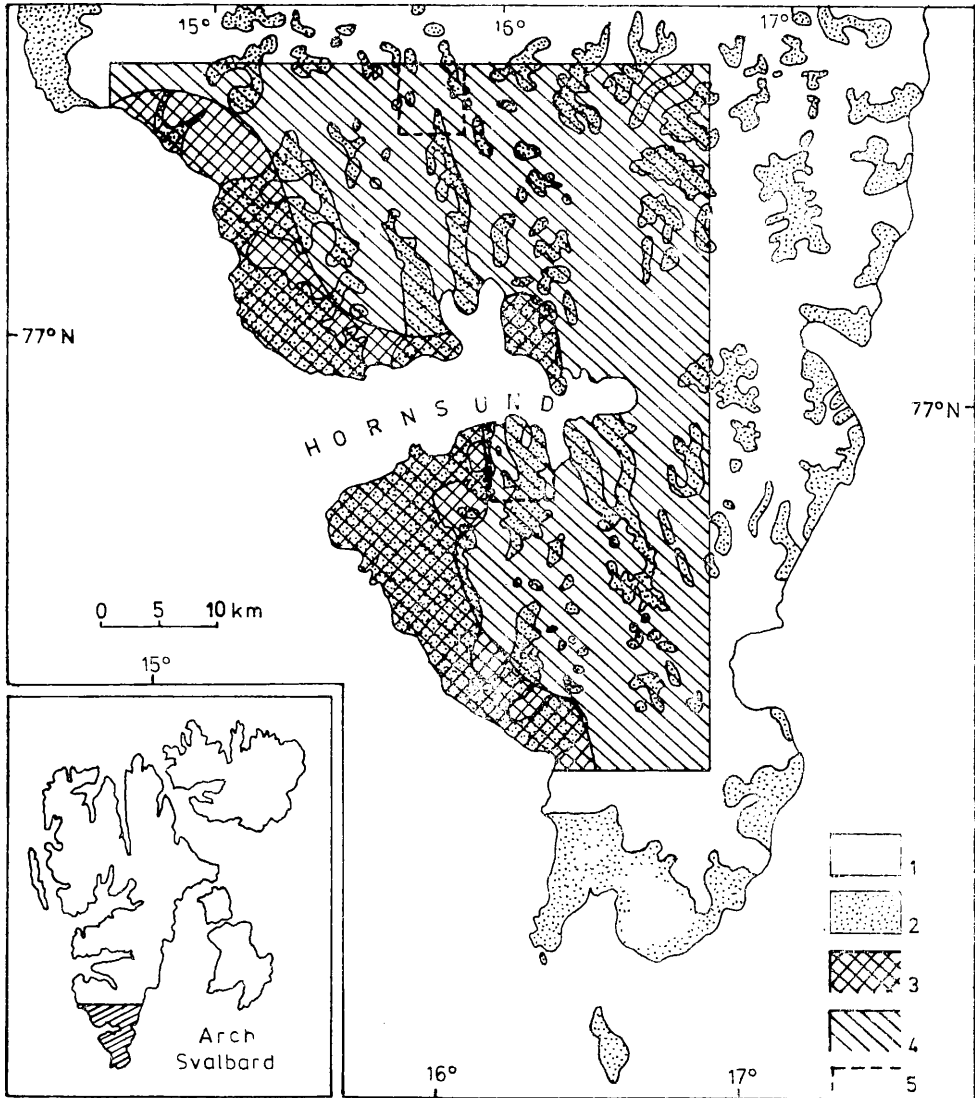
W 1983 roku przystąpiono do prac nad wydaniem tej mapy jako pierwszej w serii map tematycznych otoczenia Hornsundu, a w roku 1984 ukazała się drukiem w podziałce 1 : 75 000 (K a r c z e w s k i i in., 1984).

Wspomniane badania terenowe objęły głównie obszary nadbrzeżne oraz strefy marginalne lodowców kończących się na lądzie. Pozostały natomiast nie skartowane duże obszary pasm górskich i lodowców w głębi fiordu. Jednocześnie w celu ujednoczenia zasięgu kolejnych map

---

\* Dr Jacek Jania, Katedra Geomorfologii Krasu Uniwersytetu Śląskiego, ul. Mielczarskiego 60, 41-200 Sosnowiec

Doc. dr hab. Tadeusz Szczypek, Katedra Geografii Fizycznej Uniwersytetu Śląskiego, ul. Mielczarskiego 60, 41-200 Sosnowiec



Rys. 1. Zasięg mapy geomorfologicznej okolic fiordu Hornsund:

1 — obszary zlodowacone, 2 — obszary niezlodowacone, 3 — obszary skartowane w czasie obserwacji terenowych, 4 — obszary skartowane na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych, 5 — lokalizacja fragmentów mapy geomorfologicznej (por. rys. 2 i 4)

Fig. 1. Range of the geomorphological map of Hornsund Fjord region:

1 — glaciated areas, 2 — unglaciated areas, 3 — areas mapped by field observations, 4 — areas mapped by photo interpretation, 5 — location of parts of geomorphological map (cf. figs 2, 4)

z planowanej serii, przedstawiających warunki środowiska geograficznego, poszerzono zasięg mapy geomorfologicznej na wschód i na północ. Zaistniała więc potrzeba uzupełnienia treści mapy na obszarach „białych plam”.

Uzupełnienia te zdecydowano się wykonać metodą interpretacji panchromatycznych zdjęć lotniczych w podziałce około 1 : 50 000, uzyskanych przez Instytut Geofizyki PAN z Norsk Polarinstitut w Oslo. Wykonano je w latach 1960 i 1961 w miesiącach letnich (pełną charakterystykę materiałów lotniczych przedstawia J a n i a, 1987 — w tym tomie).

Celem niniejszej pracy jest prezentacja wyników fotointerpretacji geomorfologicznej obszaru silnie zlodowaczonego. Autorzy starali się uwypuklić wnioski dotyczące możliwości szczegółowej interpretacji różnych grup form glacialnych i peryglacialnych, ze wskazaniem na ograniczenia metody.

Interpretacja była ułatwiona dobrą znajomością przez autorów niektórych fragmentów kartowanego obszaru (J a n i a, 1979a; S z c z y p e k, 1980; J a n i a i in. 1981), pobieżną znajomością dalszych terenów oraz poznaniem charakteru i intensywności procesów kształtujących rzeźbę południowego Spitsbergenu. W trakcie pracy korzystano z obszernej literatury przedmiotu, dotyczącej tej części wyspy.

Obecnie w polskiej literaturze geomorfologicznej (K a r c z e w s k i, K o s t r z e w s k i, M a r k s, 1981; K ł y s z, L i n d n e r, 1981; S t a n k o w s k i, 1981; L i n d n e r, M a r k s, P ę k a l a, 1983 i in.), a także w pracach zagranicznych (T r o i c k i i in., 1975; B o u l t o n, 1979; S a l v i g s e n, N y d a l, 1981; M i l l e r, 1982 i in.) dyskutuje się historię zlodowaceń Spitsbergenu i ich wpływ na rzeźbę badanego obszaru. Każdy rok przynosi nowe dane i nowe poglądy na wiek oraz następstwo czasowe form i osadów na południowym Spitsbergenie. Dotychczasowe badania jednak nie dały jeszcze wystarczających podstaw do pełnego określenia wieku kartowanych form. Wykonana praca zawiera więc pełną charakterystykę morfogenetyczną, nie uwzględnia natomiast wieku form. Wydaje się, że w niedalekiej przyszłości będzie możliwe wykonanie mapy uzupełniającej stosunki chronologiczne. Z tego powodu geomorfologiczna interpretacja zdjęć lotniczych dotyczyła tylko genetycznej klasyfikacji form terenu.

Rzeźba lądów strefy polarnej, pozbawiona wysokiej i zwartej roślinności, podobnie jak obszary wysokogórskie, jest dobrze czytelna na zdjęciach lotniczych. Stąd kartowanie form na podstawie obserwacji stereoskopowej, analizy zróżnicowania fototonalnego i struktury obrazu jest znacznie łatwiejsze niż w strefie umiarkowanej. Podstawowe pod ręczniki fotointerpretacyjne i teledetekcyjne podają przykłady interpre-

tacji geomorfologicznej rejonów polarnych i zlodowaconych obszarów wysokogórskich (Schneider, 1974; Ciołkosz, Miszański, Olędzki, 1978; Winogradow, 1983). Równocześnie wiele jest prac z zakresu geomorfologii, które wykorzystują zdjęcia lotnicze (Welch, 1968; Klimek, 1972; Jania, 1979a,b; Andrzejewski, Stankowski, 1981; Mausbacher, 1981; Ostaficzuk, Lindner, Marks, 1982; Sendobry, Sinkiewicz, 1983 i in.). Mimo tego faktu autorzy uważają za celowe przedstawienie wyników interpretacji geomorfologicznej, a także uwag metodycznych odnoszących się do przeprowadzonych badań, zwłaszcza że interpretacją objęto największy (około 1500 km<sup>2</sup>) w historii polskich badań obszar w strefach polarnych.

## CHARAKTERYSTYKA BADANEGO TERENU

Teren objęty interpretacją zdjęć lotniczych leży w atlantyckim sektorze Arktyki, w południowo-zachodniej części Spitsbergenu (archipelag Svalbard), w sąsiedztwie 77°φ N (rys. 1). Zajmuje otoczenie fiordu Hornsund oraz wschodnie wybrzeże Morza Grenlandzkiego: część Ziemi Wedel Jarlsberga, Ziemi Torella i Ziemi Przylądka Południowego (Sørkapp Land). Obszar ten jest zajęty w dużej części przez lodowce i trwałe pola śnieżne. Największe są tutaj lodowce wypływowe (zlodowacenie półpokrywowe). Liczne są także lodowce dolinne (typ alpejski), lodowce karowe (typ pirenejski) i lodowce stokowe (fartuchowe), a także wieloletnie płyty śnieżne.

Wysokości bezwzględne na omawianym obszarze osiągają 1431 m n.p.m. (szczyt Hornsundtind), znaczne są również wysokości względne, gdyż dochodzą niekiedy do 900 m, przy najczęstszych — 400—600 m. Fiord Hornsund ma przebieg równoleżnikowy. Uchodzą do niego doliny południkowe zajęte przez lodowce. Oddzielone są one od siebie wysokimi i stromymi pasmami górkimi, których południkowy przebieg zaznacza się daleko w głębi łądu, także pod grubiejącą pokrywą lodowofirnową. Kierunek ten zdaje się nawiązywać do przebiegu zasadniczych jednostek struktury geologicznej.

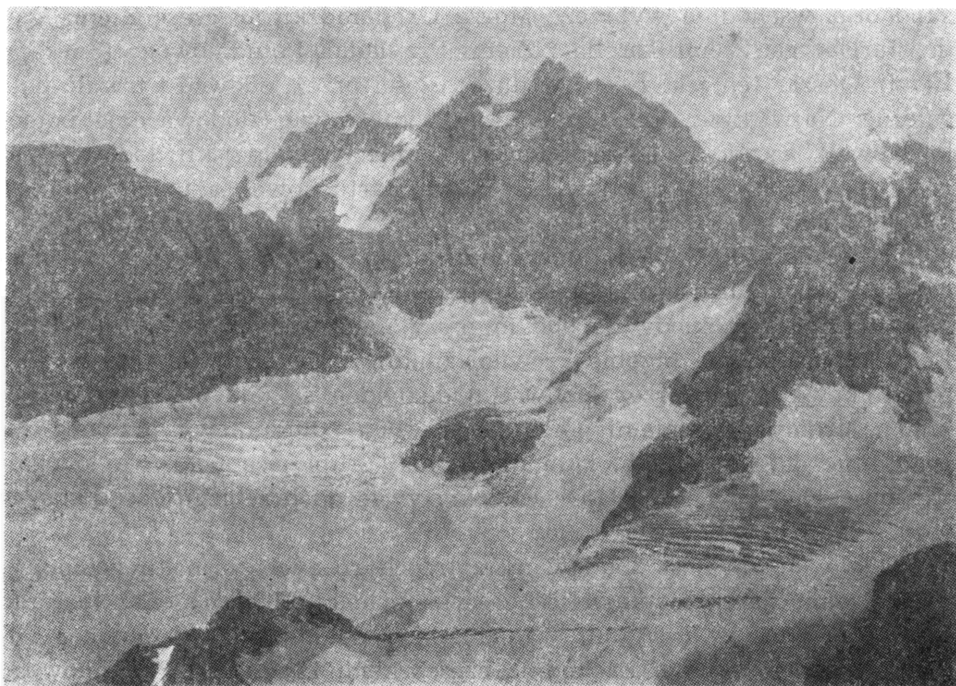
Badany obszar jest zbudowany z trzech różnych formacji geologicznych. Dominują tu metamorficzne serie formacji Hecla-Hoek z łupkami łyszczykowymi, kwarcytami, wapieniami i dolomitami, zajmujące centrum badanego terenu. Zachodnia część Ziemi Przylądka Południowego jest zbudowana z piaskowców, zlepieńców i łupków kulmu z cienkimi wkładkami węgla kamiennego, natomiast część wschodnią budują skały osadowe triasu, jury i kredy. Największe wysokości przypadają na obszar metamorficzny.

Większość lodowców kończy się w morzu klifowymi czołami, na których zachodzi „cielenie” — obłamywanie się gór lodowych. Lodowce kończące się na lądzie utworzyły wyraźne wały moren czołowych z jądrem lodowym, a towarzyszą im także rozległe, płaskie powierzchnie akumulacji wodno-lodowcowej. Przeważająca w ciągu XX wieku recesja lodowców sprawia, że pomiędzy morenami czołowymi a lodowcami powiększa się strefa zajęta przez morenę denną i sandr wewnętrzny, a także często przez liczne jeziora.

„Granica śniegu” (linia równowagi) przebiega tu na wysokości 350—400 m n.p.m. i wykazuje tendencję do podnoszenia się.

Sieć hydrograficzna jest na tym obszarze bardzo zmienna i tylko w dolinach wolnych od lodu (zachodnia część) wykazuje permanencję. Funkcjonuje ona z reguły w okresie maj-październik, przy czym długość tego okresu zależy od warunków meteorologicznych w danym roku (C z e p p e, 1966).

Przeważającą część obszaru zajmują góry o charakterze alpejskim (fot. 1). Tylko nad samym brzegiem morza powstała stosunkowo wąska



Fot. 1. Widok z Tsjebysjovfjellet na Tsjebysjovbreen, Körberbreen, Vesletinden i Hornsundtind

Photo 1. The Tsjebysjovbreen and Körberbreen with Vesletinden and Hornsundtind (view from Tsjebysjovfjellet to SE)

strefa równin nadmorskich. Roślinność tundrowa porasta właśnie te płaskie równiny nadmorskie i zanika wraz ze wzrostem wysokości i posuwaniem się w głąb lądu.

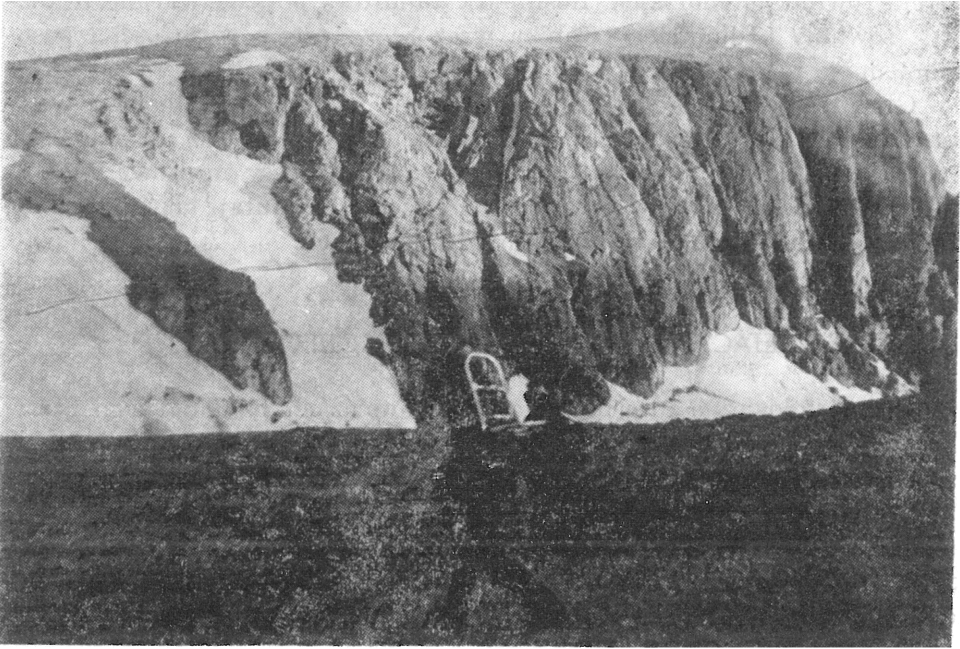
Głównymi czynnikami rzeźbotwórczymi są lodowce, płynące wody proglacjalne i proniwalne, ruchy izostatyczne łącznie z działalnością morza, procesy grawitacyjne na stokach oraz procesy mrozowe związane z obecnością trwałej zmarzliny. Stwierdzono tutaj także wyraźne i żywe zjawiska krasowe w skałach węglanowych.

## FOTOINTERPRETACYJNE KARTOWANIE GEOMORFOLOGICZNE

Geomorfologiczna interpretacja zdjęć lotniczych południowego Spitsbergenu była podporządkowana celowi, którym jest uzupełnienie mapy sporządzonej na podstawie obserwacji terenowych. W procesie interpretacji analizowano więc zdjęcia według schematu legendy do tej mapy (Karczewski i in., 1980). Wyróżniono w niej następujące grupy form: niszczącej działalności lodowców, akumulacyjnej działalności lodowców, akumulacyjnej działalności wód roztopowych, akumulacyjnej działalności morza oraz grupę form stokowych. Legendę tę poszerzono o wydzielenia dotyczące masywów i pasm górskich. Wyróżniono dodatkowo: grzbiety wąskie i ostre, grzbiety szerokie i zaokrąglone, wierzchołki o charakterze ostańców denudacyjnych i twarzielcowych, przełęcze, fragmenty powierzchni zrównań w położeniu wierzchwinowym oraz stoki górskie i żleby na stokach.

Początkowo wyróżniano trzy typy stoków górskich: ściany skalne, stoki z pokrywą zwietrzelinową (*scree slopes*) i blokowiska na stokach (*debris cover on slope*). Jednak z powodu dużego zróżnicowania poszczególne wydzielenia zajmowały bardzo małe powierzchnie już w podziałce roboczej 1:50 000, w której zestawiano wyniki interpretacji. Mając na uwadze dalsze zmniejszenie podziałki mapy do 1:75 000, zdecydowano się na jedno ogólne wydzielenie powierzchni stokowych, obejmujące wszystkie trzy typy.

Interpretację prowadzono za pomocą stereoskopu lustrzanego i interpretoskopu C (Zeiss, Jena). W pierwszej fazie prowadzono ogólny przegląd zdjęć z kolejnych szeregów (łącznie ponad 100 fotogramów). Już w tej części prac interpretacyjnych nanoszono na norweską mapę podkładową w podziałce 1:50 000 duże formy terenu, jak fragmenty powierzchni zrównań w położeniu wierzchwinowym (fot. 2), podcięcia cyrków glacialnych, niektóre grzbiety górskie i szczyty. Wyniki interpretacji zaznaczano bezpośrednio na mapie bez optycznego przetwarzania zdjęć, gdyż treść mapy podkładowej (zaznaczające się linie grzbieto-



Fot. 2. Nordfallet — powierzchnia zrównania  
Photo 2. The Nordfallet — planation surface

we, układ poziomic, zasięg lodowców) gwarantowała poprawność i dokładność zestawień. W drugiej fazie interpretacji analizowano kolejne stereogramy, korzystając — w zależności od potrzeb — z powiększonego obrazu stereoskopowego. Dokładnej analizy wymagało określenie zasięgu form akumulacji glacialnej (moreny boczne i czołowe z jądrem lodowym), form akumulacji glacifluwialnej, dolnej granicy stoków i lokalizacji stożków usypiskowych. Odnosi się to także do form na obszarach odsłoniętych spod lodu po 1936 roku (mapa podkładowa przedstawia stan topografii w tym roku). Określone na podstawie interpretacji zdjęć formy wraz z zasięgiem czół lodowców przeniesiono ze zdjęć z nałożonymi kalkami interpretacyjnymi na podkład topograficzny za pomocą przetwornika optycznego (LUZ). Pojawiały się przy tym trudności z wpasowaniem z powodu małej liczby jednoznacznie zidentyfikowanych punktów dostosowania, leżących na tej samej wysokości. Wpasowanie prowadzono więc w sposób mniej precyzyjny — strefami wysokościowymi na małych fragmentach zdjęcia lotniczego.

Cechy rozpoznawcze i charakterystyka fotointerpretacyjna poszczególnych form w obszarach zlodowaconych są znane z dostępnych pod-

ręczników (np. Schneider, 1974; Ciołkosz, Miszański, Olędzki, 1978 i in.), nie będą więc tutaj eksponowane.

Trzeba natomiast zwrócić uwagę na łatwość interpretacji wielu form tego obszaru. Należą do nich grzbiety górskie, fragmenty powierzchni zrównań, cyrki glacialne, stoki górskie i stożki usypiskowe. Dokładność kartowania jest tutaj znacznie większa niż w przypadku prac terenowych, zwłaszcza że osiągnięcie niektórych grani górskich i ich przebycie wymaga użycia techniki alpinistycznej. Bez zastosowania zatem zdjęć lotniczych niektóre części mapy musiałyby być zupełnie pozbawione treści geomorfologicznej. Warto zwrócić uwagę, że klasyczne kartowanie w tym terenie w tej samej podziałce zajęłoby bardzo dużo czasu dużej grupie geomorfologów.

Większość kartowanych form była bezpośrednio czytelna na zdjęciach lotniczych i ich zaklasyfikowanie nie narażało żadnych trudności. Odnosi się to także do form rzeźby krasowej w rejonie Sofiekammen (północny brzeg fiordu) i masywu Hilmarfjellet (południowa część mapy), których interpretacja pokrywała się dokładnie z wcześniejszymi wynikami badań terenowych (Pulina, 1977).

Interpretację na podstawie pośrednich cech rozpoznawczych prowadzono w odniesieniu do form rzeźby podlodowcowej: progów skalnych i niektórych cyrków glacialnych (rys. 2 i 4). Ich wskaźnikami fotointerpretacyjnymi była zmiana nachylenia powierzchni lodowca i charakterystyczny układ otwartych szczelin tensyjnych, naśladujących przebieg kulminacji progu, lub owalny przebieg szczelin przy krawędzi cyrku przykrytego warstwą firnu i śniegu.

W odniesieniu do małych form kriogenicznych, jak pierścienie kamieniste i wieloboki gruzowe, które nie są bezpośrednio widoczne na zdjęciach w małej podziałce, stosowano wnioskowanie *per analogiam*. Wykorzystywano tu znajomość terenu i materiały z literatury (Dutkiewicz, 1967), by w trakcie analizy obrazu stereoskopowego odszukać na płaskich powierzchniach ciemniejszy fototon, wskazujący na większe nawilgocenie i zaleganie odpowiednio miększej warstwy luźnego materiału na podłożu skalnym. Teren taki jest predysponowany do występowania gruntów strukturalnych, więc znaczone w tych miejscach obecność takich form.

Stref jęzorów soliflukcyjnych poszukiwano w obszarach o niewielkim nachyleniu stoku, charakteryzujących się obecnością drobnoziarnistego materiału i zwiększonym nawilgoceniem. W niektórych przypadkach na zdjęciach w dużym powiększeniu stwierdzano delikatną strukturę smugową, układającą się zgodnie z nachyleniem stoku. Trafność interpretacji w odniesieniu do tych wydzieleni oraz w stosunku do ma-



łych form kriogennych jest najmniejsza. Autorzy wychodzili jednak z założenia, że podziałka druku mapy, zmuszająca do generalizacji małych form peryglacialnych, zezwala na podkreślenie cech terenu przez znaczenie obecności wspomnianych form, nawet jeżeli ich położenie jest przybliżone.

Wynikiem prac interpretacyjnych jest uzupełnienie mapy A. Karczewskiego i in. (1980) dla całego wyznaczonego zasięgu. W celu zaprezentowania szczegółów rzeźby badanego obszaru przedstawiono dwa przykładowe fragmenty mapy, wykonane tylko za pomocą fotointerpretacji (rys. 2 i 4). Pierwszy z tych fragmentów obejmuje rejon lodowca Körber, a opracowany został na podstawie zdjęć z 25 czerwca 1961 roku (por. fot. 3 w artykule J. Jani, 1987 — w tym tomie). Przedstawia wysokogórskie otoczenie dolinnych lodowców Körber, Peters i Gås, z wyniosłym szczytem Hornsundtind (1431 m n.p.m.), oraz strefę wybrzeża z podniesioną terasą morską i formami akumulacji glacialnej. Drugi fragment obejmuje rejon nunataków w akumulacyjnej części Lodowca Mühlbachera i Nornebreen. Jest to strefa erozji glacialnej, intensywnego wietrzenia mrozowego i ruchów masowych. Interpretacja zdjęć obejmujących ten fragment była łatwiejsza, mimo że wykonane zostały 9 lipca 1960 roku i duże obszary stoków górskich pokrywał jeszcze zimowy śnieg.

## ZWIĄZKI RZEŻBY Z BUDOWĄ GEOLOGICZNĄ

Z porównania szkicu geomorfologicznego (rys. 2), wykonanego na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych, ze schematem geologicznym (rys. 3), opracowanym przez K. Birkenmajera (1978), wynikają pewne zależności dotyczące związku określonych form rzeźby z tektoniką i litologią podłoża.

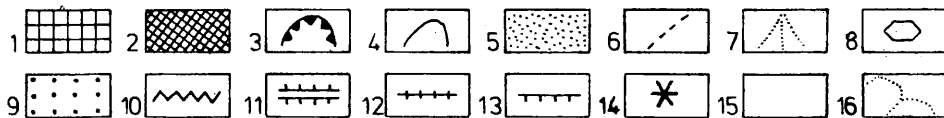
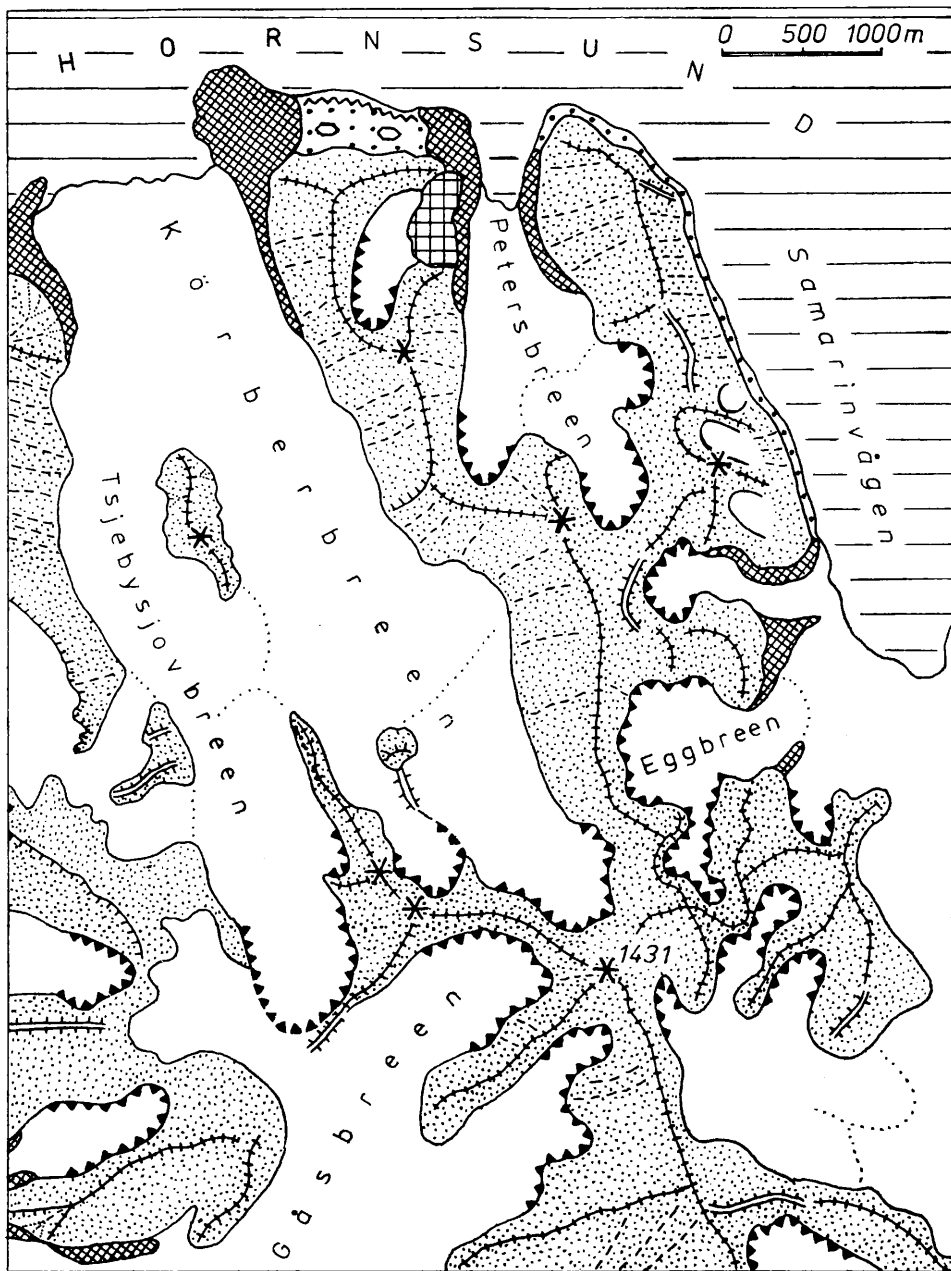
Przede wszystkim widoczny jest fakt, że większość współcześnie zlodowaconych dolin górskich, niezależnie od rozmiarów, powstała i roz-

---

Rys. 2. Fragment mapy geomorfologicznej okolic Körberbreen i Petersbreen: 1 — moreny czołowe, 2 — moreny boczne, 3 — cyrki lodowcowe, 4 — cyrki niwalne, 5 — stoki górskie (również ze zwietrzeliną), 6 — żleby, 7 — stożki usypiskowe, 8 — wieloboki gruzowe, 9 — wał brzegowy, 10 — podniesione terasy morskie, 11 — grzbiet szeroki zaokrąglony, 12 — grzbiet wąski symetryczny, 13 — grzbiet wąski asymetryczny, 14 — ostańce denudacyjne, 15 — lodowce i płyty śnieżne, 16 — lodospady

Fig. 2. Part of the geomorphological map of Körberbreen and Petersbreen region:

1 — frontal moraines, 2 — lateral moraines, 3 — glacial cirques, 4 — nival cirques, 5 — mountain slopes also with regolith, 6 — furrows, 7 — talus cones, 8 — stone circles, 9 — storm ridge, 10 — raised marine terraces, 11 — broad rounded mountain crest, 12 — narrow symmetrical mountain crest, 13 — narrow asymmetrical mountain crest, 14 — denudational remnants, 15 — glaciers and snow patches, 16 — serracks ice zone (glacier cascades)





Rys. 3. Szkic geologiczny okolic Körberbreen i Petersbreen (wg Birkenmajera, 1978):

1 — uskoki, 2 — nasunięcia, 3 — pokrywa czwartorzędowa, 4 — skały postordowickie (dewon — trias), 5 — wapień formacji Hornsundtind (ordowik), 6 — wapień formacji Nigerbreen (ordowik), 7 — wapień formacji Dusken (ordowik), 8 — dolomity formacji Luciapynten (ordowik), 9 — kwarcyty formacji Wiederfjellet (ordowik), 10 — skały prekambryjskie

Fig. 3. Geological sketch map of Körberbreen and Petersbreen region (after Birkenmajer, 1978):

1 — faults, 2 — overthrusts, 3 — Quaternary cover, 4 — Post-ordovician rocks (Devonian — Triassic), 5 — Hornsundtind limestone formation (Ordovician), 6 — Nigerbreen limestone formation (Ordovician), 7 — Dusken limestone formation (Ordovician), 8 — Luciapynten dolomite formation (Ordovician), 9 — Wiederfjellet quartzite formation (Ordovician), 10 — pre-cambrian rocks

winęła się na linii dyslokacji tektonicznych. Typowymi przykładami są doliny Körberbreen, Tsjebysjovbreen, Gåsbreen, Petersbreen, Eggbreen i in. Linie tektoniczne zarówno w postaci uskoków, jak i czół nasunięć najprawdopodobniej są też powodem pojawienia się nierówności w profilach podłużnych podłoża niektórych dolin, dzięki czemu na powierzchni lodowców, np. w górnej części Körberbreen i w dolnej części Eggbreen, można obserwować wyraźne lodospady, podkreślone intensywnym poprzecznym spękaniem lodu (fot. 1). Pozostałe lodospady zaznaczone na szkicu wykazują prawdopodobnie związki z nierównościami podłoża, wynikającymi z różnej odporności skał.

Większość grzbietów górskich jest zbudowana na omawianym obszarze z różnie wykształconych wapieni ordowickich, należących do formacji Hornsundtind oraz Nigerbreen (Birkenmajer, 1978). Jedyne masyw Traunkammen oraz grzbiet górski między Körberbreen a Petersbreen budują utwory innego wieku. Porównanie modelu stereoskopowego z budową geologiczną pozwala na stwierdzenie, że największe wysokości bezwzględne osiągają pasma górskie utworzone z wapieni formacji Hornsundtind. Również przede wszystkim w ich obrębie zaznaczają się na zdjęciu lotniczym wierzchołki denudacyjne, wystające ponad mniej lub bardziej wyrównane linie grzbietowe (Hornsundtind 1431 m n.p.m., Vesletinden 925 m n.p.m. i in.). Te ostatnie są w większości wąskie i symetryczne niezależnie od materiału, w którym się wykształciły. Widoczne na szkicu geomorfologicznym krótkie odcinki grzbietów szerokich są również w niewielkim stopniu zależne od określonych formacji skał.

Wapień formacji Nigerbreen tworzą z reguły niższe grzbiety oraz niższe części stoków, które występują w sąsiedztwie grzbietów zbudowanych ze skał formacji Hornsundtind, i niewidoczne są w ich obrębie wierzchołki denudacyjne.

Obserwacje modelu stereoskopowego oraz analiza szkicu geomorfologicznego opisywanego obszaru wskazują na nierównomierne rozczłonkowanie różnych litologicznie i wiekowo masywów górskich. Wyraża się to głównie w liczbie oraz w wielkości i kształcie cyrków lodowcowych. Można więc powiedzieć, iż stosunkowo najbardziej jednolite, a tym samym najslabiej rozczłonkowane są grzbiety górskie zbudowane ze skał prekambryjskich oraz postordowickich, natomiast najbardziej porozcinnane cyrkami lodowcowymi są grzbiety wapienne formacji Hornsundtind.

Lodowiec Peters jest zasilany przez lód spływający z pól firnowych trzech cyrków. Cyrki te wykształciły się na kontakcie różnych wiekowo skał: prekambryjskich i ordowickich (2 formy) oraz ordowickich i postordowickich (1 forma). W granicach analizowanego obszaru stwierdza

się również istnienie kilku cyrków rozwiniętych na kontakcie wapieni Nigerbreen i Hornsundtind (cyrki Tsjebysjovbreen, Bastionbreen, Garwoodbreen, Nordfallbreen oraz Silesiabreen), jednak większość tych form rozcina — jak wspomniano — masywy formacji Hornsundtind. Rozwój cyrków i ich wecinanie się w grzbiety górskie sprawia, iż niektóre z tych grzbietów przekształciły się w typowe karlingi. Na obszarze objętym opracowaniem można wyróżnić trzy takie formy. Reprezentują je masywy: Vesletinden, Hornsundtind oraz Tindegga.

Na obszarze nunataków w sąsiedztwie Mühlbacherbreen i Polakkbreen (rys. 4 i 5) zależność rzeźby od budowy geologicznej jest mniej wyraźna z powodu przykrycia znacznych przestrzeni przez pokrywę lodową. Nunataki stanowią tutaj najwyższe części grzbietów górskich, będących północnym przedłużeniem Sofiekammen i Luciakammen. Według K. Birkenmajera (1978) nunataki te w zachodniej części obszaru są zbudowane z prekambryjskich fyllitów formacji Gåshamna oraz kambryjskich dolomitów formacji Blåstertoppen, należących do grupy Sofiekammen. W miarę przesuwania się na wschód zaczynają dominować wapienie formacji Dusken i Hornsundtind, pochodzące z ordowiku, a dalej — skały osadowe, powstałe od dewonu aż do kredy.

Analizując rys. 4 i 5, trudno dopatrzeć się wyraźnych i określonych zależności między przebiegiem zlodowaconych dolin a kierunkami dyslokacji tektonicznych. Wyjątek mogą stanowić niewielkie dolinki w południowej części obszaru w sąsiedztwie nunataków Svartperla i Perlebandet. Niewidoczne są tu też istotniejsze zależności między występowaniem nunataków a budową geologiczną, jak również między rozwojem cyrków glacialnych a rodzajem skał, bowiem zarówno nunataki, jak i cyrki powstały w różnego typu utworach, niezależnie od ich wieku.

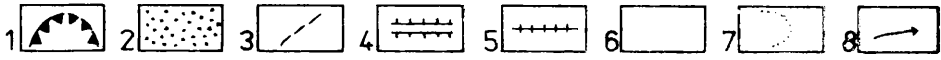
Można natomiast zauważyć związek linii grzbietowych z budową geologiczną. Ze schematów zamieszczonych w pracy K. Birkenmajera (1978) wynika, że przebieg grzbietów jest raczej związany z różną odpornością skał na czynniki denudacyjne, a nie z tektoniką podłoża. Twierdzenie to jest oparte na analizie zaledwie dwóch przekrojów geologicznych (Blåstertoppen i Dusken), jakie przedstawia wspomniany au-

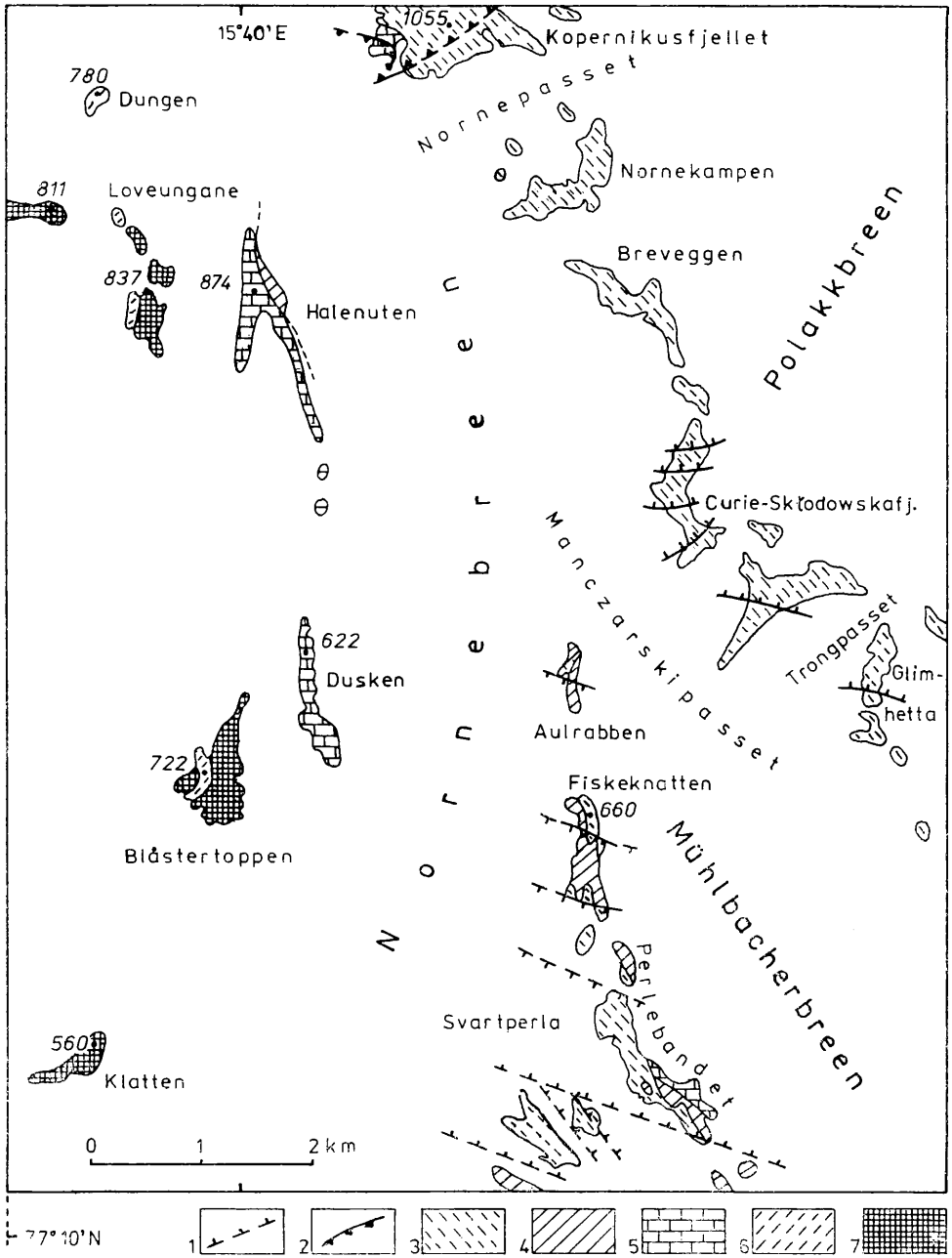
---

Rys. 4. Fragment mapy geomorfologicznej okolic Mühlbacherbreen i Polakkbreen: 1 — cyrki lodowcowe, 2 — stoki górskie (również ze zwietrzeliną), 3 — żleby, 4 — grzbiet szeroki zaokrąglony, 5 — grzbiet wąski symetryczny, 6 — lodowce, 7 — lodospady, 8 — kierunki płynięcia lodu

Fig. 4. Part of the geomorphological map of Mühlbacherbreen and Polakkbreen:

1 — glacial cirques, 2 — mountain slopes (also with regolith), 3 — furrows, 4 — broad rounded mountain crest, 5 — narrow symmetrical mountain crest, 6 — glaciers, 7 — serracks ice zone (glacier cascades), 8 — directions of glaciers movement





tor. Można jednak sądzić, iż podobna sytuacja istnieje w przypadku większej liczby nunataków.

Należy zatem jeszcze raz podkreślić, że brak wyraźnych zależności między rzeźbą a budową geologiczną na omawianym obszarze nunataków w rejonie Mühlbacherbreen i Polakkbreen nie oznacza, iż tu ich nie ma. Zależność taka na pewno istnieje, lecz jej czytelność jest wyraźnie zatarta przez rozwój rozległej pokrywy lodowej.

## UWAGI KOŃCOWE

Geomorfologiczna interpretacja zdjęć lotniczych, wykonana dla dużego zlodowaconego obszaru, wraz z podstawową mapą geomorfologiczną A. Karczewskiego i in. (1980) pozwala na określenie najważniejszych cech rzeźby tej części Spitsbergenu. Z materiałów tych wynika, że w rejonie fiordu Hornsund można wyróżnić trzy strefy rzeźby: 1) podniesionych teras morskich z nałożonymi na nie formami akumulacji wód proglacialnych oraz skomplikowaną rzeźbę marginalnych obszarów lodowców kończących się na lądzie, 2) lodowców górsko-doliny z czołami kończącymi się w morzu, 3) lodowców półpokrywowych z pasmami górskimi przechodzącymi w ciągi nunataków. Ogólnie biorąc, strefy te układają się jedna za drugą od zachodu ku wschodowi, co sugeruje ich uwarunkowanie klimatyczne.

Każda z tych stref ma swoiste cechy, które wpływają na efektywność i jakość kartowania geomorfologicznego przy zastosowaniu zdjęć lotniczych. Najłatwiejsza do kartowania jest strefa lodowców półpokrywowych z nunatakami, następnie strefa lodowców górsko-doliny, z wyłączeniem obszarów marginalnych lodowców kończących się na lądzie. Najtrudniejsza jest interpretacja zdjęć strefy teras morskich z różnorodnymi formami akumulacji fluwialnej i glacifluwialnej oraz glacialnych obszarów marginalnych. Kartowanie geomorfologiczne tej ostatniej strefy tylko na podstawie zdjęć lotniczych nie pozwala, jak się wydaje, na uzyskanie szczegółowych informacji o genezie i charakterze



Rys. 5. Szkic geologiczny okolic Mühlbacherbreen i Polakkbreen (wg Birkenmajera, 1978):

1 — uskoki, 2 — nasunięcia, 3 — skały postordowickie (dewon — kreda), 4 — wapień formacji Hornsundtind (ordowik), 5 — wapień formacji Dusken (ordowik), 6 — grupa Sofiekammen (kambr), 7 — prekambr

Fig. 5. Geological sketch map of Mühlbacherbreen and Polakkbreen (after Birkenmajer, 1978):

1 — faults, 2 — overthrusts, 3 — Post-ordovician rocks (Devonian — Cretaceous), 4 — Hornsundtind limestone formation (Ordovician), 5 — Dusken limestone formation (Ordovician), 6 — Sofiekammen group (Cambrian), 7 — Precambrian



poszczególnych form oraz osadów i powinno być koniecznie uzupełnione obserwacjami terenowymi. Z tego właśnie względu strefa ta była szczegółowo kartowana w terenie niekiedy z wykorzystaniem zdjęć lotniczych jako materiału uzupełniającego.

Przedstawiony fragment mapy z rejonu lodowca Körber (rys. 2) należy do drugiej — z wyróżnionych — stref rzeźby, której kartowanie jest możliwe na podstawie fotointerpretacji jako metody zasadniczej. Natomiast przykład najlepiej czytelnej strefy nunataków przedstawiono na rys. 4.

Powyższe uwagi upoważniają do wniosku, że odpowiednie zaplanowanie kosztownych badań terenowych w zależności od czytelności rzeźby na zdjęciach lotniczych pozwoli najefektywniej wykorzystać materiał zdjęciowy. W przypadku referowanej mapy rejonu Hornsundu właściwe nasilenie bezpośrednich badań w strefie pierwszej wynika z zainteresowań uczestników kolejnych wypraw i z dostępności terenu. Było więc ono przypadkowe. Interpretacja form w strefie drugiej i trzeciej jest natomiast możliwa nawet przy ogólnej znajomości charakteru form terenu, zwłaszcza że ich inwentarz jest niewielki.

Metoda fotointerpretacji ma jednak wyraźne ograniczenia, o których warto pamiętać. W odniesieniu do form i osadów stref marginalnych lodowców trudno ustalić, które formy mają jądro lodowe. Bardzo trudne, a czasem niemożliwe, jest wnioskowanie o następstwie warstw czy następstwie form. Nie jest możliwa identyfikacja wyższych poziomów podniesionych teras morskich, gdyż można je uznać za spłaszczenia strukturalne na stokach górskich. Małe formy kriogeniczne, jak hydrolakkolity, pingo, grunty strukturalne są słabo rozpoznawalne na mało skalowych zdjęciach lotniczych; uwaga ta dotyczy też pasów kamienistych i jeziorów soliflukcyjnych. Niemożliwe jest bezpośrednie stwierdzenie na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych obecności form krasu podziemnego, przy jednoczesnej łatwości wykrywania topografii krasowej na powierzchni.

Wymienione najważniejsze ograniczenia w stosowaniu zdjęć lotniczych na potrzeby badań geomorfologicznych na Spitsbergenie sprawiają, że fotointerpretacja nie może całkowicie wyeliminować badań terenowych. Jednak umiejętne wykorzystanie zdjęć lotniczych w fazie projektowania prac terenowych i w trakcie ich realizacji, a szczególnie po ich zakończeniu, jest niezwykle efektywne i oszczędne.

O efektywności pracy geomorfologa na zdjęciach lotniczych strefy polarnej najlepiej świadczy fakt, że obszar o powierzchni około 1500 km<sup>2</sup> został skartowany w warunkach kameralnych przez 2 osoby w ciągu jednego miesiąca.

## LITERATURA

- Andrzejewski L., Stankowski W., 1981: *Recesja Lodowca Vitkovski na tle analizy jego strefy marginalnej (południowy Spitsbergen)*, [w:] VIII Symposium Polarne. Materiały, 1, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 139—142.
- Birkenmajer K., 1978: *Cambrian succesion in South Spitsbergen. Ordovician succesion in south Spitsbergen*, *Studia Geol. Polon.*, vol. 59, s. 1—82.
- Boulton G. S., 1979: *Glacial history of the Spitsbergen Archipelago and the problem of a Barents Shelf ice sheet*, *Boreas*, vol. 8 (1), Oslo, s. 31—57.
- Ciołkosz A., Miszalski J., Olędzki J. R., 1978: *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa, s. 1—240.
- Czeppe Z., 1966: *Przebieg głównych procesów morfogenetycznych w południowo-zachodnim Spitsbergenie*, *Zesz. Nauk. UJ*, 127, *Prace Geogr.*, z. 13, *Prace Inst. Geogr.*, z. 35, Kraków, s. 1—125.
- Dutkiewicz L., 1967: *The distribution of periglacial phenomena in NW-Sörkapp, Spitsbergen*, *Biul. Perygl.*, n° 16, s. 37—83.
- Jania J., 1979a: *Geomorphological investigations in Sorkapland*, [w:] *Field investigations performed during the Spitsbergen expedition of the Silesian University in the summer of 1978. Interim report*, Uniwersytet Śląski, Katowice, s. 21—23.
- Jania J., 1979b: *Współczesne procesy stokowe na Sorkaplandzie (Spitsbergen) w świetle badań fotointerpretacyjnych*, [w:] IX Ogólnopolska Konferencja Fotointerpretacji. Streszczenia referatów, Katowice, s. 33—34.
- Jania J., 1982: *Slope forms and processes in the Gásdalen region in photogrammetric investigations and repeated terrestrial photographs*, [w:] *Spitsbergen Expeditions*, 4, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, n° 525, s. 93—114.
- Jania J., 1987: *Interpretacja glaciologiczna zdjęć lotniczych otoczenia Hornsundu (Spitsbergen) na przykładzie lodowców Körber i Peters*, [w:] *Fotointerpretacja w geografii*, t. IX (19).
- Jania J., Lentowicz Z., Szczypek T., Wach J., 1981: *Szkic geomorfologiczny rejonu Gásdalen (południowy Spitsbergen)*, [w:] VIII Symposium Polarne. Materiały, 1, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 119—128.
- Karczewski i in., 1980: *Hornsund Fiord, geomorphology*, mapa w rękopisie 1:50 000, UAM, Poznań.
- Karczewski i in., 1984: *Hornsund — Spitsbergen, geomorfologia*, 1:75 000, Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Karczewski A., Kostrzewski A., Marks L., 1981: *Late Holocene glacier advances in Revdalen, Spitsbergen*, *Pol. Polar Res.*, vol. 2, n° 1—2, Warszawa, s. 51—61.
- Klimek K., 1972: *Współczesne procesy fluwialne i rzeźba równiny Skeidarárjökull (Islandia)*, *Prace Geograficzne IG PAN*, nr 94, s. 1—139.
- Klysz P., Lindner L., 1981: *Development of glaciers on the southern coast of Hornsund in Spitsbergen during the Würm (Vistulian) Glaciation*, *Acta Geol. Polon.*, vol. 31, n° 1—2, s. 139—146.
- Lindner L., Marks L., Pękala K., 1983: *Quaternary glaciations of South Spitsbergen and their correlation with Scandinavian glaciations of Poland*, *Acta Geol. Polon.*, vol. 33, n° 1—4, s. 169—182.
- Mausbacher R., 1981: *Geomorphologische Kartierung im Oobloyah-Tal, N-Ellesmere Island, NWT, Kanada*, *Heidelberger Geogr. Arbeiten*, H. 69, s. 413—440.

- Miller G. H., 1982: *Quaternary depositional episodes, western Spitsbergen Norway: aminostratigraphy and glacial history*, Arctic and Alpine Research, vol. 14 (4), s. 321—340.
- Ostaficzuk S., Lindner L., Marks L., 1982: *Photogeological map of the Bungebreen forefield (West Spitsbergen), scale 1:10 000*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Pulina M., 1977: *Uwagi o zjawiskach krasowych w południowej części Spitsbergenu*, [w:] *Kras i speleologia*, t. 1 (X), s. 104—129.
- Salvigsen O., Nydal R., 1981: *The Weichselian glaciation in Svalbard before 15 000 BP*, Boreas, vol. 10 (4), Oslo, s. 433—446.
- Schneider S., 1974: *Luftbild und Luftbildinterpretation*, Walter de Gruyter, Berlin—New York, s. 1—530.
- Sendobry K., Sinkiewicz M., 1983: *Próba wykorzystania zdjęć lotniczych do sporządzenia mapy geomorfologicznej okolic lodowca Dahl*, [w:] *Fotointerpretacja w geografii*, t. VI (16), s. 34—41.
- Stankowski W., 1981: *O morskim pochodzeniu mezorzeźby Lisbetdalen (SW Spitsbergen)*, [w:] *VIII Sympozjum Polarne. Materiały, 1*, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 101—111.
- Szczypek T., 1980: *Geomorphological studies in the Gåshamna region (Sørkapp Land)*, [in:] *Field investigations performed during the Spitsbergen expedition of the Silesian University in the summer of 1979. Interim report*, Uniwersytet Śląski, Katowice, s. 18—20.
- Troicki L. S., Zinger E. M., Koriakin V. S., Markin V. A., Michailiov V. I., 1975: *Oledenienie Špitsbergena — Svalbarda*, Nauka, Moskwa, s. 1—276.
- Welch R., 1968: *Color aerial photography applied to the study of a glacial area*, [w:] *Manual of color aerial photography*, Am. Soc. of Photogramm., Fals Church, s. 400—401.
- Winogradow B. W., 1983: *Satelitarne metody badania środowiska przyrodniczego*, PWN, Warszawa, s. 1—324 (tłum. z rosyjskiego).

ЯЦЕК ЯНИА. ТАДЕУШ ЦИПЕК

### ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ ФИОРДА ХОРНСУНН НА ОСНОВАНИИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ

#### Резюме

Целью геоморфологического картирования окрестностей фиорда Хорнсунн в южной части Шпицбергена с помощью дешифрирования норвежских аэрофотоснимков в масштабе 1:50 000 является дополнение геоморфологической карты, составленной А. Карчевским и др. (1980) на основании полевых наблюдений (рис. 1). В 1984 г. эта карта публиковалась в масштабе 1:75 000 (Карчевски и др., 1984).

Геоморфологическое дешифрирование аэрофотоснимков вместе с картой А. Карчевского и др. (1980) позволяет отметить, что в районе фиорда Хорнсунн имеются три главных зоны рельефа: 1) морские террасы с наложенными на

них формами аккумуляции гляциофлювиальных вод, а также рельеф маргинальных зон ледников, заканчивающихся на суше; 2) горно-долинные ледники с фронтом, заканчивающимся в море; 3) полупокровные ледники с горными цепями, проходящими в нунатаки. Эти зоны размещены друг за другом с запада на восток, что, вероятно, свидетельствует об их климатической обусловленности.

Каждой из этих зон свойственны определенные черты, которые влияют на качество и эффективность геоморфологического картирования с помощью аэрофотоснимков. Легче всего картировать: зону полупокровных ледников с нунатаками (рис. 4), затем зону горно-долинных ледников (рис. 2) без маргинальных областей на суше, а наиболее трудно — зону морских террас с разнообразными формами гляциофлювиальной и флювиальной аккумуляцией, а также маргинальные области ледников на суше. Поэтому последняя зона подробно картировалась на основании полевых наблюдений с использованием аэрофотоснимков как вспомогательного материала. Кроме того установлено, что одни формы рельефа хорошо видны на аэрофотоснимках, а другие — недостаточно или же совсем не видны. Из этого следует, что дешифрирование аэрофотоснимков не в состоянии полностью исключить полевые исследования, но дополнительное и умелое их использование является очень эффективным и экономным.

Проведена также попытка определения зависимости рельефа от геологического строения (рис. 3 и 5). Установлено, что на некоторых территориях (рис. 2 и 3) она довольно отчетливая, а на других (рис. 4 и 5) — значительно меньше, из-за развития обширного ледяного покрова, препятствующего подробным наблюдениям и сравнениям.

JACEK JANIA, TADEUSZ SZCZYPEK

## GEOMORPHOLOGICAL MAPPING OF THE HORNSUND FJORD REGION FROM INTERPRETATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS

### Summary

The object of the geomorphological mapping of the Hornsund fjord region in the south of Spitsbergen basing on interpretation of Norwegian 1:50 000 scale aerial photographs was to supplement the geomorphological map prepared by A. Karczewski et al. (1980) which was based on field observations. This map, on a 1:75 000 scale, was published in 1984 (Karczewski et al., 1984).

From geomorphological interpretation of aerial photographs considered jointly with the map prepared by A. Karczewski et al. (1980) it was possible to conclude that in the Hornsund fjord area there main relief zones: 1) marine terraces overlaid with glaciofluvial waters accumulations forms and complicated relief of the marginal areas of glaciers terminated on land, 2) mountain-valley glaciers with fronts ending up to in the sea, 3) semi-covering glaciers with mountain ranges turning to nunataks. These zones are found in order from west to east, which probably indicates something of their climatic determinants.

Each of the zones has its characteristic features which affect the quality and effectiveness of the geomorphological mapping executed from aerial photographs. The easiest to mapping is the zone of semi-covering glaciers with nunataks, next the

zone of mountain-valley glaciers without marginal regions on land and most difficult is the zone of marine terraces with various forms of glacifluvial and fluvial accumulations and glaciers' marginal regions on land. Hence for this later region detailed mapping was performed on the basis of field observations, treating the aerial photographs as auxiliary material. Moreover, it was ascertained that many relief forms are easy to read on the photographs, while others are difficult or simply impossible to read. Hence it may be concluded that interpretation from aerial photographs cannot entirely replace investigations in the field, which supplemented with skilful interpretation of the photographs can give effective and economic results.

Tests were also made to determine the relation between the relief and the geological structure. It was found that in certain areas there is a distinct relationship while in others this is considerably less distinct due to the development of the ice cover which overlies an extensive area, making detailed observation and comparisons impossible.