

LESZEK LINDNER, LESZEK MARKS, STANISŁAW OSTAFICZUK, RYSZARD SZCZĘSNY,
KAZIMIERZ PĘKAŁA*

METODYKA WYKONYWANIA MAP FOTOGEOLOGICZNYCH POŁUDNIOWEGO SPITSBERGENU

WSTĘP

W artykule przedstawiono analizę fotogeologiczną jako najbardziej efektywną metodę określania rozwoju form rzeźby i ich identyfikowania w badaniach obszarów polarnych. Takiej kompleksowej analizie poddano przedpola lodowców południowego Spitsbergenu. Pracę podjęto na podstawie norweskich zdjęć lotniczych badanych obszarów, wykonanych w skali równej w przybliżeniu 1 : 50 000.

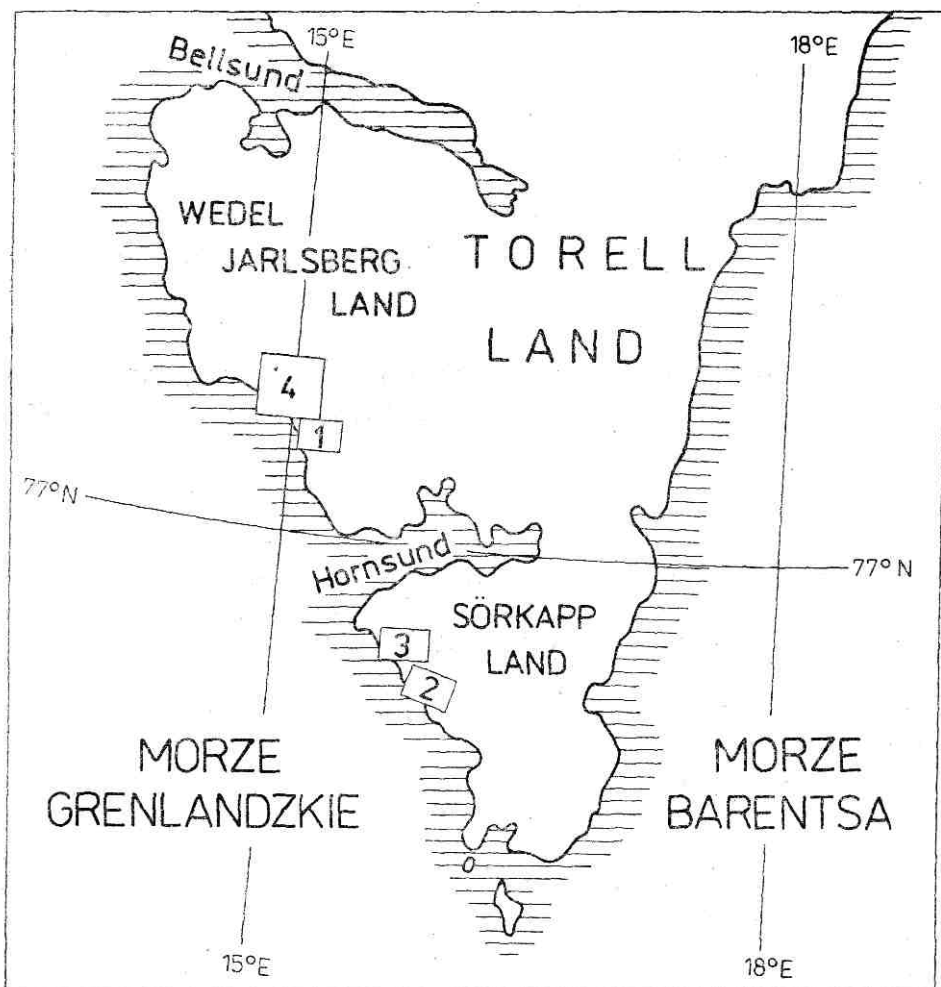
Badania terenowe przeprowadzone przez autorów w latach 1979—1980 umożliwiły genetyczną identyfikację większości dostępnych form rzeźby, lecz brak szczegółowych podkładów topograficznych oraz szybkie zmiany rzeźby zachodzące wskutek wytapiania martwego lodu lodowcowego (zagrzebanego w osadach w efekcie powszechnej recesji lodowców) uniemożliwiły dokładne ich okonturowanie. Te trudności przezwyciężono, wykorzystując metodę analizy fotogeologicznej (por. Ostaficzuk, 1978). Zastosowano ją w stosunku do czterech wybranych obszarów, różnych pod względem wykształconych w nich form rzeźby i osadów (rys. 1), co szerzej omówiono w innych artykułach (Lindner i in., 1985a, 1985b, w druku).

METODA

Analizę fotogeologiczną przeprowadzono na podstawie diapozytywów oraz papierowych odbitek stykowych norweskich zdjęć lotniczych w ska-

* Prof. dr hab. Leszek Lindner, dr Leszek Marks, dr hab. Stanisław Ostaficzuk, mgr Ryszard Szczęsny, Instytut Geologii Podstawowej, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Doc. dr hab. Kazimierz Pękała, Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet im. Marii Curie-Skłodowskiej, ul. Akademicka 19, 20-033 Lublin



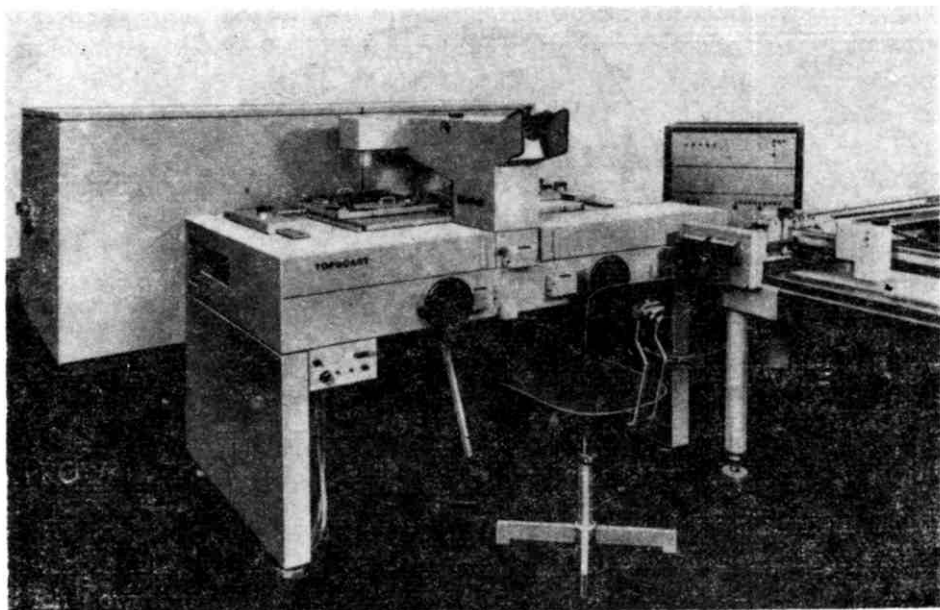
Rys. 1. Szkic lokalizacyjny wykonanych map fotogeologicznych południowego Spitsbergenu w skali 1:10 000:

1 — przedpole lodowców Torella, Nanna i Tone (Ostaficzuk i in., 1980), 2 — przedpole lodowca Bunge (Ostaficzuk i in., 1982), 3 — rejon doliny Slakli (Ostaficzuk i in., 1986), 4 — strefa interlobalna lodowca Torella (Szczęsny i in., 1985)

Fig. 1. Locality of the prepared photogeological map sheets on the scale of 1:10 000 for South Spitsbergen:

1—forefield of Torell, Nann and Tone glaciers (Ostaficzuk et al., 1980), 2—forefield of Bunge Glacier (Ostaficzuk et al., 1982), 3—Slakli Valley region (Ostaficzuk et al., 1986), 4—interlocal zone of Torell Glacier (Szczęsny et al., 1985)

li równej w przybliżeniu 1:50 000, wykonanych w latach 1960—1961. Zdjęcia te zestrojono na Topokarcie, autografie firmy C. Zeiss, Jena (fot. 1). Bezwzględną orientację otrzymanych modeli przestrzennych i ich skalowanie oparto na nawiązaniu do jedynych istniejących, norweskich map topograficznych w skali 1:100 000 (Norge, Topografisk Kart Over Svalbard 1:100 000 — Blad B12 Torellbreen i Blad C13 Sörkapp). Ana-



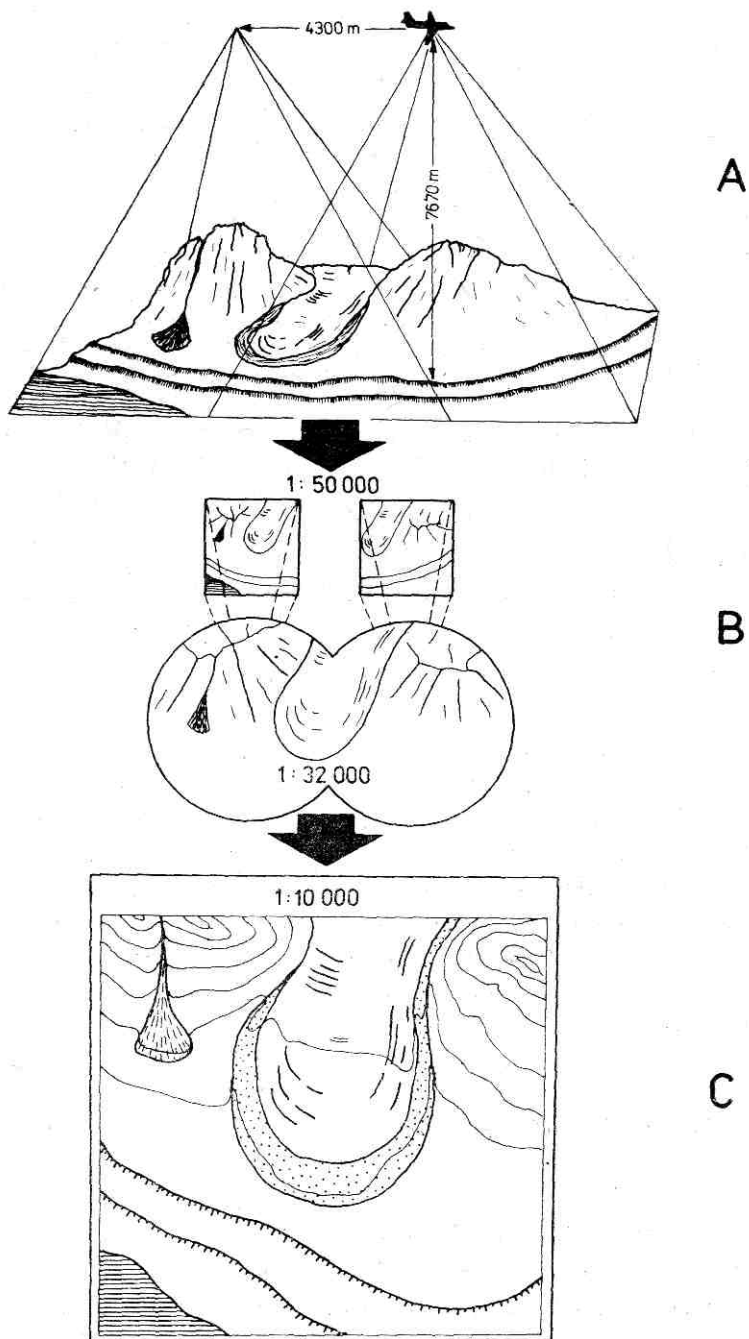
Fot. 1. Topokart firmy C. Zeiss, Jena (Fot. S. Ulatowski)
Phot. 1. C. Zeiss-Jena topocart (Photo: S. Ulatowski)

lizowane modele przestrzenne wykonano w skali 1 : 32 000, natomiast ostateczną skalę opracowania — 1 : 10 000 — uzyskano na koordynatografie, czyli automatycznym stole kreślarskim sprzężonym z Topokartem (rys. 2). Jako punkty wpasowania w skali 1 : 10 000 wybrano wyraźne szczyty górskie, załamania linii brzegowej oraz odcinki przełomowe rzek sandrowych, możliwe do zidentyfikowania zarówno na mapie topograficznej, jak i na zdjęciach lotniczych. Stereogramy spoziomowano następnie względem poziomu morza i punktów wysokościowych podanych na wspomnianych norweskich mapach topograficznych.

DOKŁADNOŚĆ OPRACOWANIA

Dokładność wykonanych map fotogeologicznych zależała od trzech głównych grup możliwych błędów.

Pierwsza grupa obejmuje błędy przeniesione z materiałów wyjściowych, służących do bezwzględnej orientacji modelu przestrzennego. Niestety, brakuje informacji pozwalających określić dokładność wspomnianych norweskich map topograficznych, które były podstawą opracowanych map fotogeologicznych. W efekcie błędy stąd wynikające nie mogą być uwzględniane, chociaż autorzy zdają sobie sprawę, że mogą być one znaczne.



Rys. 2. Tok sporządzania map fotogeologicznych:

A — nalot, B — przetwarzanie zdjęć lotniczych na autografie, C — mapa fotogeologiczna

Fig. 2. Preparation of the photogeological maps — procedure:

A — flight, B — transformation of aerial pictures by means topocart, C — photogeological map; for other explanations see the text

Druga grupa błędów jest wynikiem zniekształceń skali poziomej, spowodowanych niedokładnością wpasowania w norweskie mapy topograficzne w skali 1 : 100 000. Błędy te zależą więc od dokładności samych map wyjściowych (co już omówiono) oraz od dokładności układu optycznego stosowanego do wpasowania. Zestrojenie z mapą w skali 1 : 100 000 przeprowadzono za pomocą celownika optycznego o powiększeniu siedmiokrotnym, zamontowanego na stole kreślarskim w miejsce elementu kreślącego. Dokładność wpasowania autorzy oceniają na $\pm 0,1$ mm na mapie w skali 1 : 100 000, co oznacza 10 m rzeczywistej odległości (1 mm na wykonanej mapie w skali 1 : 10 000).

Trzecia grupa błędów to niedokładności wynikające z nieprecyzyjności technicznej zastosowanych instrumentów. Należą tu błędy pomiarów położenia i wysokości na modelu przestrzennym oraz błędy przetwarzania powstałe podczas prac autogrametrycznych. Wszystkie te błędy zostały oszacowane na podstawie prac M. B. Piaseckiego (1958), K. Schwidofsky'ego (1963), H. Starosczyka (1971) oraz danych zawartych w instrukcji obsługi autografu (Topographisches Auswertegerät Topocart B — Gebrauchsanleitung, VEB C. Zeiss, Jena).

Wykorzystane zdjęcia lotnicze miały skalę 1 : 50 000. Wykonano je kamerą o ogniskowej obiektywu $f = 153,45$ mm, więc wysokość lotu nad średnim poziomem morza wynosiła:

$$0,15345 \times 50\,000 \cong 7670 \text{ m,}$$

a baza fotografowania miała około 4300 m (rys. 2). Zastosowano wzór Koppego (według K. Schwidofsky'ego, 1963):

$$m_h = a + b \tan \alpha,$$

w którym m_h jest średnim błędem wysokości warstwy na wykonanej mapie, a jest średnim błędem wysokości, b średnim błędem położenia w skali opracowania, natomiast α średnim nachyleniem powierzchni terenu. Przyjmując zatem odpowiednie wartości: $a = \pm 18$ m (wartość maksymalna według M. B. Piaseckiego, 1958) lub $a = \pm 1,9$ m (wartość maksymalna według K. S. Schwidofsky'ego, 1963, i H. Starosczyka, 1971), $b = \pm 0,3$ mm (w skali mapy 1 : 10 000) lub ± 3 m (odległość w terenie według H. Starosczyka, 1971), $\alpha = 6^\circ$ (co wynika z wielu pomiarów w różnych miejscach wykonanej mapy), można odpowiednio obliczyć wartość $m_h = \pm 2,1$ m lub $m_h = \pm 2,2$ m. Oznacza to, że błąd bezwzględny wynosi 4,2—4,4 m.

Taka dokładność pozwala wykreślić poziomice podstawowe w cięciu co 10 m. Jedynie na mapie 1 (rys. 1) zaznaczono poziomice podstawowe w cięciu co 20 m. Jest to zgodne z powszechnie przyjmowaną zasadą, że błąd wysokości nie powinien przekraczać połowy cięcia poziomicowego. Autorzy pozwolili sobie jednak na pewne odstępstwo od tej zasady, decydując się na poprowadzenie w niektórych miejscach poziomic dodatkowych

w cięciu co 5 m, mimo że błąd popełniany podczas ich kreślenia jest porównywalny z wartością cięcia. Mapa 2 (rys. 1) zawiera poziomice dodatkowe 5 i 15 m n.p.m., mapa 3 (rys. 1) — 5, 15 i 25 m n.p.m., mapa 4 (rys. 1) zaś tylko 5 m n.p.m. Mapa 1 (rys. 1) natomiast ma poziomice dodatkową 10 m n.p.m., a więc całkowicie w zgodzie ze wspomnianą zasadą. Należy podkreślić, że poziomice dodatkowe w cięciu co 5 m wprowadzono wyłącznie na obszarach o niewielkim nachyleniu (np. na sandrach, tarasach morskich), gdyż uznano poziomice podstawowe przebiegające w znacznej odległości od siebie za niewystarczające do właściwego odzwierciedlenia charakteru powierzchni terenu, znanej autorom z bezpośrednich obserwacji. Narysowanie poziomicy dodatkowych było w tym przypadku ułatwione przez przewyższenie modelu stereoskopowego, dzięki czemu na obszarach płaskich i słabo nachylonych nawet niewysokie formy rzeźby były dobrze czytelne i mogły być stosunkowo łatwo okonturowane. Należy również nadmienić, że błąd wysokości popełniany w odniesieniu do tych obszarów jest mniejszy od średniego, co wynika z podanego wzoru Koppego.

Uwzględniając wszystkie te zastrzeżenia i możliwe błędy na mapach fotogeologicznych wykonanych w skali 1 : 10 000, zamieszczono uwagę, iż mapy te są przeznaczone do celów kartometrycznych (O s t a f i c z u k i in., 1980, 1982, 1986; S z c z ę s n y i in., 1985).

TOK SPORZĄDZANIA MAP FOTOGEOLOGICZNYCH

Podczas prac autogrametrycznych opracowanie każdego arkusza mapy fotogeologicznej było poprzedzone wykonaniem podkładu hipsometrycznego. Ten z kolei pokrywano poliestrową folią kreślarską, na której wykreślano poprzez układ autogrametryczny granice geologiczno-geomorfologiczne, odczytywane ze zdjęć lotniczych. Te fragmenty badanych obszarów, które były mniej czytelne na zdjęciach lotniczych (np. wskutek położenia w cieniu), były analizowane na podstawie własnych, naziemnych, czarno-białych zdjęć lub barwnych przeźroczy, a dopiero później lokalizowane na zdjęciach lotniczych.

Mała skala zdjęć lotniczych zmuszała do znacznej generalizacji, lecz pomimo to uwzględniono istotne elementy rzeźby, np. nie zniszczone całkowicie, niewielkie fragmenty wyższych tarasów morskich.

Obie mapy analityczne (hipsometryczna i wydzieleni geologiczno-geomorfologicznych) pokrywały się ze sobą. W końcowym etapie opracowania każdy zestaw map analitycznych był jeszcze uzupełniony o dodatkowy rysunek na folii poliestrowej w tej samej skali, zawierający zarys jezior i sieci rzecznej. Po redakcji wszystkie arkusze danego zestawu map były drukowane w wersjach dwu-, trzy- lub wielobarwnych.

UWAGI KOŃCOWE

Metody fotogrametryczne, wykorzystujące zdjęcia lotnicze, stosowano już wprawdzie poprzednio w badaniach obszarów świeżo opuszczonych przez lodowce (m. in. Welch i Howarth, 1968; Price, 1973), lecz dla Spitsbergenu takich prac w zasadzie nie przeprowadzono. Wyjątkiem są jedynie wymieniane wielokrotnie wcześniej norweskie mapy topograficzne w skali 1:100 000, zawierające zidentyfikowane moreny jako jedyny element geomorfologiczny. Ponadto sporządzono jeszcze małoskalowy szkic fotointerpretacyjny niektórych fragmentów południowego Spitsbergenu, obejmujący pewne elementy rzeźby czoła lodowca Hans (Jania, 1982), oraz szkic geomorfologiczny półwyspu Treskelen, skonstruowany częściowo na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych (Marks, 1983).

Mapy fotogrametryczne fragmentów Islandii, Wyspy Baffina oraz Alaski przedstawiają wybrane formy rzeźby lodowcowej. Zwykle mają one podkład hipsometryczny oparty na cięciu poziomowym co 5 m (Price, 1973) lub co 20 m (Welch i Howarth, 1968) oraz skalę zbliżoną lub najwyżej 2—3 razy większą niż skala wyjściowych zdjęć lotniczych (por. Welch i Howarth, 1968; Price, 1973).

Mapy w skali 1:10 000, wykonane przez autorów niniejszego artykułu, są kompleksowymi opracowaniami form rzeźby i osadów czwartorzędowych czterech wybranych obszarów w rejonie Hornsundu (rys. 1) mających odrębny charakter. Dwie najwcześniej wydrukowane mapy (Ostaficzuk i in., 1980, 1982) przedstawiają czoła lodowców i ich przedpola z systemami wyniesionych tarasów morskich, w większym (mapa 1) lub mniejszym (mapa 2) stopniu poręczinanych przez wody sandrowe. Mapa 3 jest ilustracją form rzeźby i osadów występujących w niektórych obecnie nie zlodowaconych dolinach górskich, o wyraźnych śladach działalności lodowców z okresu rozległych, czwartorzędowych zlodowaceń (Ostaficzuk i in., 1986). Mapa 4 przedstawia strefę interlobalną z licznymi śladami niedawnej działalności lodowcowej oraz duży nunatak górski z osadami okresowych lodowcowych jezior zaporowych (Szczęsny i in., 1985).

Stwierdzono, że analiza fotogeologiczna jest najlepszą metodą sporządzania map geologiczno-geomorfologicznych obszarów pozbawionych zwartej pokrywy roślinnej. W czasie badań przeprowadzonych na południowym Spitsbergenie umożliwiła ona autorom wyróżnienie i okonturowanie lodowcowych, morskich i zboczowych form rzeźby i osadów, wychodni skał przedczwartorzędowych oraz elementów strukturalnych wynikających z dynamiki lodowców. Pozwoliła też na określenie rozwoju rzeźby tych obszarów (por. Lindner, Marks i Ostaficzuk, 1982, 1984, 1986; Pękala i in., 1986 w druku), a także na opracowanie niektórych zagadnień stratygraficznych (Lindner, Marks i Pękala

la, 1983, 1984) oraz klasyfikacji form akumulacji zboczowej i lodowców gruzowych (Lindner i Marks, 1985) południowego Spitsbergenu.

Szybka recesja lodowców południowego Spisbergenu i gwałtownie zachodzące zmiany rzeźby polodowcowej na ich przedpolach (szczególnie w wyniku wytapiania pogrzebanego martwego lodu) przemawiają za powtarzaniem analizy fotogeologicznej tych samych stref marginalnych lodowców co około 20 lat. Kilka takich powtórzonych szkiców fotogrametrycznych tego samego obszaru przedstawili R. Welch i P. J. Howarth (1968). Jak wykazały studia porównawcze, wspomniane 20 lat to okres wystarczająco długi, aby zaszły w nim znaczne zmiany w rozwoju sieci wód roztopowych oraz zdecydowane przeobrażenia lodowcowych form rzeźby i osadów. Czoła większości badanych lodowców południowego Spitsbergenu podlegały w czasie ostatnich 20 lat recesji wynoszącej kilkaset metrów, a powierzchnia lodowców w ich strefach marginalnych obniżyła się o kilkadziesiąt metrów.

LITERATURA

- Dürnfeld H. J., Töppler J., 1980: *Der Einsatz des Neigungsrechners des VEB Carl Zeiss Jena für die Auswertung verschwenkter terrestrischer Aufnahmen*, Vermessungsinformationen. H. 36, Jena.
- Jania J., 1982: *Ablacja przez „cienienie” i wycofywanie się lodowców Hornsundu (Spitsbergen) w XX wieku. Wyniki wstępne*, [w:] *Wyprawy polarne Uniwersytetu Śląskiego 1977—1980*, t. I, red. M. Pulina i T. Szczypek, Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Lindner L., Marks L., 1985: *Types of debris slope accumulations and rock glaciers in South Spitsbergen*, *Boreas*, vol. 14, Oslo.
- Lindner L., Marks L., Ostaficzuk S., 1982: *Evolution of the marginal zone and the forefield of the Torell, Nann and Tone glaciers in Spitsbergen*, *Acta Geol. Polon.*, vol. 32, No. 3—4, Warszawa.
- Lindner L., Marks L., Ostaficzuk S., 1984: *Photogeological analysis of the forefield of the Bunge Glacier (Sörkapp Land, Spitsbergen)*, *Quaternary Studies in Poland*, No. 5, Warszawa—Poznań.
- Lindner L., Marks L., Ostaficzuk S., 1986: *Geomorphology and Quaternary deposits of the Slaklidalen area*, *Studia Geol. Polon.* vol. 89, Warszawa.
- Lindner L., Marks L., Ostaficzuk S., Pękala K., Szczęsny R., 1985a: *Application of photogeological mapping to studies of glacial history of South Spitsbergen*, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 10, Chichester—New York.
- Lindner L., Marks L., Ostaficzuk S., Pękala K., Szczęsny R., 1985b (w druku): *Photogeologic analysis of Quaternary landforms and deposits in South Spitsbergen (Norway)*, *Polish Polar Research*, Warszawa.
- 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, No. 1—4, Warszawa.
- Lindner L., Marks L., Pękala K., 1984: *Late Quaternary glacial episodes in the Hornsund Region of Spitsbergen*, *Boreas*, vol. 13, Oslo.
- Marks L., 1983: *Late Holocene evolution of the Treskelen Peninsula (Hornsund, Spitsbergen)*, *Acta Geol. Polon.*, vol. 33, No. 1—2, Warszawa.

- Ostaficzuk S., 1978: *Fotogeologia, fotointerpretacja i fotogrametria geologiczna*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Ostaficzuk S., Lindner L., Marks L., 1982: *Photogeological map of the Bungebreen forefield (West Spitsbergen)*, scale 1:10 000, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Ostaficzuk S., Lindner L., Marks L., 1986: *Photogeological map of the Slaklidalen region (West Spitsbergen)*, scale 1:10 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Ostaficzuk S., Marks L., Lindner L., 1980: *Mapa fotogeologiczna przedpoła lodowców Nann i Torella (Spitsbergen Zachodni) w skali 1:10 000*, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa.
- Pękala K., Lindner L., Marks L., Szczęsny R., 1986 (w druku): *Evolution of the interlobal zone of Torellbreen, Spitsbergen*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin.
- Piasecki M. B., 1958: *Fotogrametria lotnicza i naziemna*, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa.
- Price R. J., 1973: *Glacial and fluvioglacial landforms*, [w:] *Geomorphology Text*, ed K. M. Clayton, No. 5, Edinburgh.
- Schwidefsky K., 1963: *Grundriss der Photogrammetrie*, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- Starosczyk H., 1971: *Topographisches Stereokartigerät Topocart B*, Vermessungsinformationen, H. 23, Jena.
- Szczęsny R., Lindner L., Marks L., Pękala K., 1985: *Photogeological map of the interlobal zone of Torellbreen (West Spitsbergen)*, scale 1:10 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Welch R., Howarth P. J., 1968: *Photogrammetric measurements of glacial landforms*, Photogrammetric Record, vol. 6, No. 31.

ЛЕШЕК ЛИНДНЕР, ЛЕШЕК МАРКС, СТАНИСЛАВ ОСТАФИЧУК,
КАЗИМЕЖ ПЕНКАЛА, РЫШАРД ЩЕНСНЫ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ФОТОГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ ЮЖНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Резюме

Авторы выполнили геолого-морфологические карты в масштабе 1:10 000 для четырех разных территорий на южном Шпицбергене на основе фотogeологического анализа норвежских аэрофотоснимков, сделанных в 1960—1961 годах (рис. 1). Снимки анализировались при помощи топокарта (фот. 1), а дешифрирование выделенных форм рельефа и отложений проводилось на основе материалов авторов, относящихся к 1979—1980 годам. Обсуждены теоретические основы примененного метода (ср. рис. 2), в особенности точность выполненных фотogeологических карт. Замечено, что ошибка высоты на полученных картах составляет 4,2—4,4 м и поэтому главные изогипсы вычерчены в разрезе через каждые 10 м. Подчеркивается необходимость проведения примерно через каждые 20 лет фотogeологического анализа тех же самых маргинальных зон тех же самых ледников. Выполненные карты позволили в первую очередь определить развитие рельефа избранных территорий, а затем составить классифи-

кацию аккумуляционных форм, образовавшихся у подножия склонов и валунных ледников, а также стратиграфию отложений четвертичного периода южного Шпицбергена.

LESZEK LINDNER, LESZEK MARKS, STANISŁAW OSTAFICZUK,
KAZIMIERZ PEKALA, RYSZARD SZCZĘSNY

METHODICS OF PREPARATION OF SOUTH SPITSBERGEN PHOTOGEOLOGICAL MAPS

S u m m a r y

The photogeological analysis was applied for preparation of geomorphologic-geologic maps on the scale of 1:10 000 for four different areas in South Spitsbergen (fig. 1). This method was based on Norwegian air photos of 1960—1961, analyzed by means of a topocart (phot. 1) and supported by the authors' field-works carried out in 1979—1980. Theoretical foundations of the method are discussed (cf. fig. 2), especially the attained accuracy of the prepared maps. The calculation height error is equal 4.2—4.4 m and therefore, the height contours are drawn at each 10 m. A repeated photogeological analysis of the same deglaciated area is postulated each 20 years. The prepared maps were the starting points for studies on evolution of the selected areas, origin and classification of debris slope accumulations and rock glaciers, as well as on stratigraphy of Quaternary deposits in South Spitsbergen.

Maszynopis złożony Radzie Redakcyjnej w kwietniu 1985 roku, przyjęty do druku przez Wydawnictwo UŚ w marcu 1989 roku.