

***Dynamiczne procesy glacialne  
na południowym Spitsbergenie***

JACEK JANIA

**Dynamiczne  
procesy glacialne  
na południowym  
Spitsbergenie**

(w świetle badań fotointerpretacyjnych i fotogrametrycznych)

PRACE NAUKOWE  
UNIwersytetu śląskiego  
W KATOWICACH  
NR 955

Uniwersytet Śląski



Katowice 1988

REDAKTOR SERII: GEOGRAFIA  
JAN TREMBACZOWSKI

RECENZENT  
ALFRED JAHN

## SPIS TREŚCI

<b>1. Wstęp</b> . . . . .	7
Cel i zakres pracy . . . . .	7
Charakterystyka terenu badań . . . . .	14
<b>2. Metody badań fotointerpretacyjnych i fotogrametrycznych stosowane w glaciologii</b> . . . . .	24
Zarys historii stosowania fotogrametrii i fotointerpretacji w badaniach lodowców . . . . .	25
Przegląd metod fotogrametrycznych stosowanych w glaciologii współczesnej . . . . .	30
Uwagi o metodach teledetekcji w badaniach lodowców . . . . .	36
Zastosowane metody badań oraz wykorzystane materiały . . . . .	38
<b>3. Stan lodowców południowego Spitsbergenu ze szczególnym uwzględnieniem rejonu Hornsundu</b> . . . . .	47
Główne cechy morfologii i morfometrii lodowców na południowym Spitsbergenie . . . . .	47
Uwagi o strefach glacialnych i termice lodowców . . . . .	58
Kartowanie przebiegu linii równowagi na podstawie zdjęć lotniczych z lat 1960 i 1961 . . . . .	65
<b>4. Zmiany geometrii lodowców południowego Spitsbergenu</b> . . . . .	71
Charakterystyka związków geometrii lodowca z głównymi procesami glacialnymi . . . . .	71
Uwagi o metodach badań zmian geometrii lodowców . . . . .	73
Zmiany objętości i miąższości wybranych lodowców rejonu Hornsundu . . . . .	76
<b>5. Procesy dynamiczne w strefie ablacyjnej lodowca kończącego się na lądzie</b> . . . . .	89
Zmiany miąższości strefy czołowej lodowca Werenskiöld . . . . .	89
Ruch dolnej części lodowca Werenskiöld . . . . .	95
<b>6. Procesy dynamiczne w strefie ablacyjnej lodowca uchodzącego do morza</b> . . . . .	107
Ruch lodowców uchodzących do morza na przykładzie lodowca Hans . . . . .	108
Zmiany położenia czoła i ablacja przez cielenie lodowca Hans . . . . .	132
Aktywność sejsmiczna lodowca Hans . . . . .	141
Mechanizm cielenia lodowca Hans . . . . .	143
Ogólne „prawo cielenia” . . . . .	149
<b>7. Współczesne wahania czół lodowców południowego Spitsbergenu</b> . . . . .	158
Zmiany zasięgu lodowców kończących się na lądzie . . . . .	159
Wahania lodowców uchodzących do morza . . . . .	160

<b>8. Procesy typu surging na południowym Spitsbergenie . . . . .</b>	<b>175</b>
Charakterystyka zjawiska surge . . . . .	175
Lodowce typu surge na południowym Spitsbergenie . . . . .	177
Mechanizm procesu surge . . . . .	187
Ewolucja spitsbergeńskich lodowców typu surge . . . . .	196
<b>9. Uwagi o niektórych konsekwencjach geomorfologicznych procesów glacialnych w rejonie Hornsundu . . . . .</b>	<b>201</b>
Skutki procesów dynamicznych w części czołowej lodowców lądowych . . . . .	201
Konsekwencje dynamiki lodowców uchodzących do morza . . . . .	209
<b>10. Zakończenie . . . . .</b>	<b>216</b>
Procesy glacialne południowego Spitsbergenu na tle innych obszarów zlodowaczonych Arktyki i Subarktyki . . . . .	216
Uwagi o przydatności metod fotointerpretacji i fotogrametrii w badaniach lodowców spitsbergeńskich . . . . .	224
Wnioski . . . . .	229
<b>Literatura . . . . .</b>	<b>235</b>
<b>Резюме . . . . .</b>	<b>255</b>
<b>Summary . . . . .</b>	<b>256</b>

# ДИНАМИЧЕСКИЕ ГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ЮЖНОМ ШПИЦБЕРГЕНЕ (В СВЕТЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДЕШИФРОВАНИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ)

## Резюме

В работе представлены результаты проведенных в 1982—1985 гг. исследований методом наземной фотограмметрии и дешифрования аэрофотоснимков, выполненных в 1936, 1960 и 1961 гг. Используются также архивные топографические карты и фотограмметрические измерения.

Исследовано состояние ледников южного Шпицбергена (гл. 3), описан их морфологический тип (табл. 1) и представлены главные морфологические черты (табл. 2). Охарактеризованы гляциальные зоны ледников, термика и прохождение линии равновесия на основе аэрофотоснимков 1961 г. (рис. 16 и 17). Анализировались изменения геометрии ледников в период 1936—1961 гг. (гл. 4). Большинство из них отчетливо уменьшило свой объем (табл. 3). Кривую изменения толщины ледника вместе с высотой показывают кинематические волны льда (рис. 20—24), которые в случае Финстервальдербреен являются эффектом сёрджа (рис. 25).

Процессы движения ледников изучались на примере Вереншельдбреен, который заканчивается на материке (гл. 5), и Гансбреен, заканчивающегося в море (гл. 6). Замечена тесная связь поверхностной скорости ледников от количества талых вод, доходящих до их ложа (рис. 40, 41, 42). Это доказывает большую роль донного скольжения в движении ледников Шпицбергена. Максимальная скорость движения наблюдается в начале сезона абляции (вторая декада июля, рис. 44, 45). В случае материковых ледников преобладает деформационное движение ледника — свыше 60% средней годовой скорости. Донное скольжение затухает вблизи фронта. В случае омываемого ледника донное скольжение увеличивается в сторону фронта (у фронта Гансбреен 95% поверхностной скорости — это результат донного скольжения). В концевой части материковых ледников преобладает компрессионное движение. Векторы вертикальной составной движения Вереншельдбреен поднимаются вверх, а торможение скорости происходит постепенно (рис. 29). Современная динамика ледника Вереншельдбреен характерна фазе успокоения сёрджа. Движение фронтальной части ледников, оканчивающихся в море, имеет тензионный характер. Направления движения Гансбреен в вертикальной плоскости расположены параллельно поверхности и только при самом клиффе направлены вниз (рис. 46).

В настоящей работе особое внимание обращено на абляцию путем откалывания ледников, оканчивающихся в море (гл. 6). Исследован годовой цикл откалывания ледника Хансбреен (рис. 44) и связь откалывания с сейсмикой ледника. Механизм откалывания ледников Шпицбергена напоминает образование оползневых сёрджей (рис. 51). Это результат тензионного движения с участием положительных обратных сопряжений типа „эффект Якобсхавен“, ускоряющих движение (Т. Хюс, 1986). Рассчитано подводное таяние ледникового клиффа, решающее примерно о 20% скорости откалывания.

Результаты исследований Гансбреен и Конгсверен (Фойту, 1979) на Шпицбергене, а также данные М. Ф. Мейера и др. (1980) для ледников Аляски позво-

лиди сформулировать „общий закон откалывания”, где скорость откалывания зависит непосредственно от скорости движения ледника:

$$\bar{V}_c = k + f(\bar{V}_g)$$

где:  $\bar{V}_c$  — скорость откалывания,  $k$  — параметр откалывания (зависимый от климатических условий),  $f(\bar{V}_g)$  — функция скорости ледника (по предварительным результатам эта функция имеет линейный характер). Абляция путем откалывания является важным элементом баланса воды, на Шпицбергене составляет около 25% общей потери массы.

Исследовались колебания ледников на южном Шпицбергене (гл. 7). Скорость отступания ледников, оканчивающихся в море, зависит прежде всего от глубины аквена, в котором они заканчиваются. С начала нашего столетия поверхность ледников, оканчивающихся на Хорнсунне, уменьшилась примерно на 88 км<sup>2</sup>, т.е. средняя скорость деградации составляет свыше 1 км<sup>2</sup>/год.

Анализ свойств поверхности ледников на аэрофотоснимках южного Шпицбергена показал, что преобладающее большинство из них относится к типу сёрдж (фот. 14—20, гл. 8). Результаты исследований динамики ледников и изменения их геометрии, а также последние работы с Аляски и Альп (Камб, 1986; Икен, Биндшадлер, 1986) пытаются объяснить механизм, освобождающий сёрдж, как наложение кинематических волн разной величины. Учтена роль изменений типа субгляциального дренажа. Представлена упрощенная модель эволюции ледников типа сёрдж, вызванной отеплением климата, т.е. уменьшением массы ледников и увеличением прилива талых вод к их ложу (рис. 63).

Рассмотрены некоторые геоморфологические последствия актуальной динамики ледников (гл. 9). Образование отчетливых форм фронтальных морен с ледяным ядром, а также напорных морен необходимо считать эффектом быстрого движения льда в активной фазе сёрджа. Сезонные осцилляции распространения фронтов ледников, оканчивающихся в море, являются причиной образования годовых валов напорных морен, что следует считать типичным для фазы успокоения сёрдж. Активная фаза в морской среде имеет вид накладывающихся и наложенных гляциально-морских отложений большой толщины.

В заключительной части работы (гл. 10) представлена оценка пригодности фотометодов в гляциологии, а также проведено сравнение интенсивности гляциальных процессов на южном Шпицбергене с динамикой других ледников Арктики и Субарктики.

#### DYNAMIC GLACIAL PROCESSES IN SOUTH SPITSBERGEN (IN THE LIGHT OF PHOTOINTERPRETATION AND PHOTOGRAMMETRIC RESEARCH)

##### Summary

This monograph presents results of research carried out using terrestrial photogrammetry over the period 1932—1985 and photointerpretation of aerial pictures taken in 1936, 1960 and 1961. Archival topographic maps and photogrammetric surveys have also been used.

The state of the glaciers in South Spitsbergen has been examined (chapter 3). The analysis includes morphological type (tab. 1) and morphometric features (tab. 2). Based upon aerial photos taken in 1961 (fig. 7) the glacial zones, thermal regime

and the equilibrium line (fig. 16 and 17) have been analysed. Most of the glaciers have distinctly reduced volume over the period 1936—1961 (chapter 4; tab. 3). The diagram of changes in glacier thickness with the altitude shows the existence of kinematic waves (fig. 20—24), which in the case of Finsterwalderbreen, are the result of a surge.

Werenskioldbreen, which terminates on land (chapter 5), and a grounded tidewater glacier Hansbreen (chapter 6) have been taken as examples to investigate glacier movement. A close relation between surface velocity and the amount of melt water flowing to the glacier bed (fig. 40—42) is observed. It supports the important role of basal slip for the glaciers of Spitsbergen. Maximum flow velocity is observed in mid-July, the first part of the ablation season (fig. 44 and 45). For land-terminated glaciers internal deformation is the dominant flow mechanism, accounting for more than 60% of the mean annual flow. Basal sliding decreases near the front. In the case of tidewater glaciers, basal sliding increases toward the front (at the terminus of Hansbreen 95% of surface velocity results from basal slip). Compressional flow dominates in the frontal part of glaciers terminated on land. Near the front of Werenskioldbreen, velocity vectors are emergent and velocity decreases gradually toward to the terminus. Current dynamics of Werenskioldbreen resemble the quiescent phase of a surging glacier. Movement of the frontal part of tidewater glaciers is tensional. Directions of Hansbreen flow vectors projected on a vertical plane are parallel to the surface and only close to the terminal cliff do they dip seaward.

In this work special attention is paid to ablation by calving of tidewater glaciers (chapter 6). An annual cycle of Hansbreen calving activity and the relations between calving and glacier seismicity have been examined. The mechanism of calving of the Spitsbergen grounded tidewater glaciers resembles landslide slumps. Calving results from tensional movement with positive feedback such as the „Jakobshavn effect” (Hughes, 1986) accelerating the movement. Underwater melting has also been calculated; it is responsible for about 20% of calving speed.

Data from Hansbreen (Jania, 1982, 1986, 1987b), Kongsvegen (Voigt, 1979), Alaska tidewater glaciers (Brown and others, 1982, table 1) make it possible to formulate a „general calving law”:

$$\bar{V}_c = k + f(\bar{V}_g)$$

where calving speed  $\bar{V}_c$  is a function of glacier velocity  $\bar{V}_g$ ; a calving coefficient  $k$  depends on climatic conditions. Preliminary results suggest that the function  $f(\bar{V}_g)$  is linear.

For tidewater glaciers on Spitsbergen, calving typically accounts for 25% of the mass loss.

Fluctuations of the fronts of the South Spitsbergen glaciers have also been investigated (chapter 7). Recession rates of tidewater glaciers depend mainly on the sea depth at the glacier terminus. Since the beginning of this century the surface of the Hornsund tidewater glaciers has decreased by 88 км<sup>2</sup>, yielding a mean deglaciation rate exceeding 1 км<sup>2</sup> per year.

Analysis of surface features of the glaciers of South Spitsbergen proves that most of them are of surge type (chapter 8, phot. 14—20). Observations of the dynamics and geometry changes of Spitsbergen glaciers together with recent results from Alaska (Kamb and others, 1986) and the Alps (Iken and Bindshadler, 1986) suggest that the superposition of kinematic waves at different scales can trigger a surge. The importance of changes in the subglacial drainage structure has been taken into account. A simplified model of surge-type glacier evolution caused by

climate warming (decreasing glacier volume and increasing melt water flow to the bed) is also presented (fig. 63).

Some geomorphological consequences of the dynamics of contemporary glaciers have been considered (chapter 9). Formation of ice-cored frontal moraines and push moraines must be treated as an effect of rapid glacier movement typical of the active phase of surging. Seasonal oscillations of the terminal position of tidewater glaciers cause annual push moraine ridges that are a typical feature formed during the quiescent phase of surging. For the marine environment, the active phase is associated with superimposed push glacial-marine deposits of great thickness.

In the final part of this monograph the usefulness of photo-methods in glaciology is evaluated. Lastly, the intensity of glacial processes in South Spitsbergen is compared with that in other Arctic and Subarctic areas.

Projekt okładki

GERARD LABUS

Redaktor  
JOLANTA WIETESKA

Redaktor techniczny  
HALINA KRAMARZ

Korektor  
BARBARA KUŹNIAROWSKA

Copyright © 1988  
by Uniwersytet Śląski  
Wszelkie prawa zastrzeżone

Wydawca  
Uniwersytet Śląski  
ul. Bankowa 14, 40-007 Katowice

Wydanie I. Nakład: 220 +38 egz. Ark. druk.  
16,25 +5 wkładek. Ark. wyd. 25,5. Oddano do  
drukarni w listopadzie 1987 r. Skład rozpoczęto  
w marcu 1988 r. Podpisano do druku i druk  
ukończono w czerwcu 1988 r. Papier druk kl.  
III 80 g 70 × 100.

Zam. 1148/87

C-12

Cena zł 765,—

ISSN 0208-6336

ISBN 83-226-0200-6

Drukarnia Uniwersytetu Śląskiego  
ul. 3 Maja 12, 40-096 Katowice