

ZRÓŻNICOWANIE ALBEDO LODOWCA SCOTTA (W SPITSBERGEN)¹

Krzysztof Siwek¹, Andrzej Gluza¹, Stefan Bartoszewski²

¹ Zakład Meteorologii i Klimatologii, Instytut Nauk o Ziemi UMCS
al. Kraśnicka 2 cd, 20–718 Lublin
klimatks@biotop.umcs.lublin.pl, gluza@biotop.umcs.lublin.pl

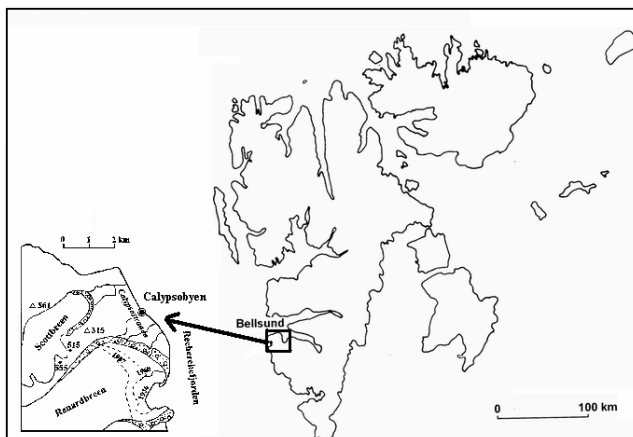
² Zakład Hydrografii, Instytut Nauk o Ziemi UMCS
ul. Akademicka 19, 20–033 Lublin
stbar@biotop.umcs.lublin.pl

1. Wstęp

Rejon Bellsundu, stanowiący NW część Ziemi Wedela Jarlsberga (Spitsbergen) jest od 1986 roku przedmiotem kompleksowych badań prowadzonych przez uczestników Wypraw Geograficznych Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (ryc. 1). Badania dotyczące warunków akumulacji i ablacji pokrywy śnieżnej rozpoczęto w 1987 r. na lodowcu Scotta (Piasecki 1988). Lodowiec ten reprezentuje typowy dla środkowego Spitsbergenu typ lodowca górskiego kończącego się na lądzie. Zajmuje on zlodowacaną dolinę, otoczoną łańcuchami Bohlinryggen i Wijkanderberget wznoszącymi się maksymalnie do 715 m n.p.m., o łącznej powierzchni 5.2 km². Wylot doliny jest zamknięty systemem wałów morenowych (ryc. 2). Od lat 60-tych Lodowiec Scotta cofnął się o ok. 530 m, czyli średnio rocznie o ok. 20 m, w wyniku tego odsłonięciu uległo ponad 0.5 km² przedpola lodowca. Miąższość części czołowej uległa zmniejszeniu o 75 m czyli średnio rocznie 2.7 m (Merta i Odzimkowski 1990). Recesję lodowca Scotta potwierdziły badania przeprowadzane w 2001 r., które stwierdziły, że lodowiec Scotta w okresie 1986–2001 zmniejszył swą powierzchnię o ponad 10% (Bartoszewski i in. 2003).

W sezonie letnim cechy klimatyczne Svalbardu, podobnie jak całej Arktyki, określają przede wszystkim: cyrkulacja atmosferyczna i związana z nią cyrkulacja oceaniczna oraz czynniki astronomiczne, które warunkują dopływ promieniowania słonecznego. W bilansie promieniowania Arktyki ważną rolę odgrywają, ogólnie biorąc, trzy rodzaje powierzchni czynnych: ląd, lód i woda. Powierzchnie te posiadają różne cechy fizyczne, które warunkują ilość pochłoniętej przez nie energii np.: albedo wody wynosi wtedy średnio 10%, tundry 15–25%, tającego lodu 55–65%. Podczas letnich miesięcy praktycznie całe ciepło dochodzące do powierzchni ziemi jest zużywane na tajanie lodu (Głowicki 1985, Gurgul i in. 2003).

¹ Badania wykonano w ramach grantów KBN nr 6 P04E 034 20 i 6 P04E 044 19



Ryc. 1. Położenie obszar badań

Fig. 1. Location of study area

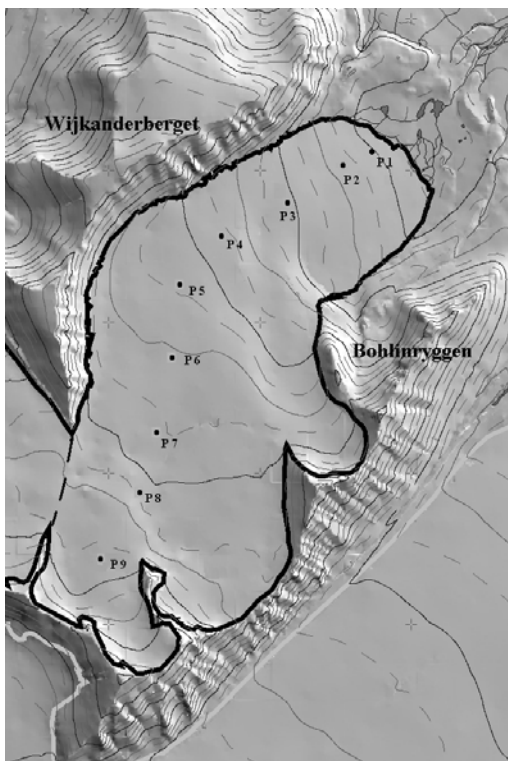
2. Cel, materiał źródłowy i metodyka opracowania

Celem badań było określenie ilościowe tak istotnego czynnika wpływającego na bilans promieniowania krótkofalowego, jakim jest albedo. Pod pojęciem albedo rozumiemy zdolność odbijania promieniowania słonecznego przez różne powierzchnie i przez ich pokrycie. Wielkość tę wyrażamy przez stosunek promieniowania odbitego do padającego. Jest to ważny czynnik różnicujący strukturę bilansu radiacyjnego, a przez to i lokalne warunki klimatyczne (Paszyński i in. 1999). Znajomość albedo powierzchni pozwala na określenie jego roli w bilansie cieplnym powierzchni czynnej, który ma wpływ na wielkość ablacji.

Badania zróżnicowania albedo powierzchni Lodowca Scotta w sezonie letnim 2001 prowadzono metodą patrolową wzdłuż profilu ablacyjnego (ryc. 2), obejmującego cały profil wysokościowy lodowca. Dodatkowo wykonywano pomiary w punktach o różnym stopniu uwodnienia podłoża i jego zanieczyszczenia przez materiał mineralny. Pomiary albedo wykonywano za pomocą solarymetru CM6 firmy Kipp&Zonen o zakresie spektralnym od 305 do 2800 nm (0.3–2.8 μm). Przyrząd ten umieszczony był na wysięgniku o długości 1.3 m na wysokości około 1 m w stosunku do powierzchni czynnej. Wysokość ta mogła się zmieniać w granicach od 100 do 130 cm w zależności od nachylenia i kształtu powierzchni, nie schodząc jednak nigdy poniżej 100 cm. Termostosy ustawiano, za pomocą libelki, zawsze w pozycji horyzontalnej.

Pomiarów promieniowania padającego i odbitego dokonywano kolejno: kierując solarymetr na zmianę raz w górę, raz w dół. Czynność tę powtarzano co najmniej pięciokrotnie w jednym punkcie. Czas wykonywania jednej serii pomiarów wynosił przeciętnie 5 minut. Należy pamiętać, że pomiary promieniowania z góry i z dołu nie są wtedy jednoczesne, co w pewnych przypadkach może mieć wpływ na wyniki. W związku z tym przy obliczaniu wartości albedo z uzyskanych odczytów odrzucano wartości ekstremalne i z pozostałych trzech obliczano średnią wartość, zarówno w odniesieniu do pomiarów promieniowania całkowitego, jak też promieniowania odbitego.

Przy wykonywaniu pomiarów uwzględniano: rodzaj podłoża (śnieg, firn, lód lodowcowy, lód nałożony) i jego uwodnienie, stopień zanieczyszczenia powierzchni materiałem morenowym lub eolicznym, kąt nachylenia powierzchni lodowca i jej spękanie oraz kąt padania promieni słonecznych (różne pory doby) i różny typ pogody (z uwzględnieniem stopnia pokrycia nieba przez chmury różnych pięter).



- P1 – 105 m n.p.m.
- P2 – 135 m n.p.m.
- P3 – 205 m n.p.m.
- P4 – 280 m n.p.m.
- P5 – 320 m n.p.m.
- P6 – 355 m n.p.m.
- P7 – 385 m n.p.m.
- P8 – 422 m n.p.m.
- P9 – 480 m n.p.m.

Ryc. 2. Rozmieszczenie stałych punktów pomiarowych na Lodowcu Scotta (Zagórski 2002)

Fig. 2. Distribution of the fixed measuring points on Scott's Glacier (from Zagórski 2002)

W każdym z punktów wykonano kilka serii pomiarów, przy czym zwracano uwagę, aby pomiary we wszystkich punktach wykonywane były w podobnych warunkach meteorologicznych. Łącznie wykonano 75 serii pomiarowych

3. Analiza wyników

Do analizy wybrano dane zebrane w trzech dniach pomiarowych.

1. Dzień 31 lipca 2001 – niebo z dużym zachmurzeniem (7/10) przez chmury piętra wysokiego (Ci fib i Cs fib) i niewielkim (3/10) przez chmury niskie (Sc pe, St fra), pomiary w godzinach górowania Słońca (kąąt padania ok. 30°).

Na czole lodowca – punkt P1 (ryc. 2), którego podłoże stanowił lód lodowcowy z wytopieniami materiału mineralnego i nanosami mułu mokrego, zanotowano najniższe wartości albedo. Zmieniały się od 15 do 18%. W sąsiedztwie tego punktu występowały płyty lodu nałożonego o różnym stopniu zanieczyszczenia, gdzie albedo wynosiło od 21 do 26% oraz powierzchnie z czystym lodem nałożonym, nad którymi albedo wzrastało do 47%. W miarę wzrostu wysokości zmniejszała się ilość zanieczyszczeń powierzchniowych, a w związku z tym wzrastało albedo, przyjmując wartości od 50 do 56% w punkcie P2. Nad powierzchniami o większej ilości zanieczyszczeń wartości albedo zmniejszały się do 31%. Albedo w punkcie P3 miało wartości zbliżone do punktu P2 i wahało się od 55–59%. W płynącym, obok punktu P3,

potoku supraglacialnym albedo wynosiło 46%. Okolice punktu P4, położonego powyżej progu, charakteryzowały się zaleganiem rozległych płatów pozimowego śniegu, nad którymi albedo miało wartości 60–65%. Łód nałożony, znajdujący się na wysokości P4 (280 m npm) miał albedo ok. 58%. Podobne wartości uzyskano w punktach P5 i P6. W pobliżu punktu P6 znajdowały się powierzchnie pokryte kryształami lodu przemytego o niewielkim stopniu zabrudzenia nad którymi albedo wynosiło ok. 60% oraz śniegu czystego przewianego o albedo 65%. W otoczeniu punktów P7 i P8 albedo zmieniało się od 55 do 61% w zależności od wielkości i uwodnienia kryształów lodu. Najwyższe wartości albedo, wynoszące około 70%, zmierzono na polu firnowym w okolicach punktu P9. Małe zróżnicowanie (1–2%) przestrzenne wartości albedo na polu firnowym związane były z jednorodnością podłoża zarówno pod względem pokrywającego go materiału (firn bez zanieczyszczeń) jak i ukształtowania powierzchni.

2. "Noc" z 5 na 6 sierpnia 2001 - niebo bezchmurne lub z niewielkim (2/10) zachmurzeniem przez chmury piętra wysokiego (Ci fib) i niskiego (St fra).

Przy niskim położeniu Słońca albedo na czole lodowca (P1) wyniosło 36%, czyli wzrosło dwukrotnie w stosunku do pomiaru z dnia 31 lipca. Nieco mniejszy wzrost albedo zanotowano w punkcie P2, gdzie wartości dochodziły do 70%. W punkcie P3 wartości albedo wynosiły 78%, a więc również wzrosły względem pomiarów z dnia 31 lipca. Okolice punktu P4 charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem rodzaju podłoża i w związku z tym przeprowadzono dodatkową serię pomiarów. Powierzchnia z wytopieniami kriokonitowymi miała średnie albedo 67%, co związane było ze zwiększeniem szorstkości powierzchni. W przypadku występowania zanieczyszczeń powierzchni przez pyły mineralne wartości albedo ulegały zmniejszeniu do 55%. Innym czynnikiem wpływającym na zróżnicowanie albedo był stopień i kierunek nachylenia podłoża np.: powierzchnie nachylone w kierunku N – 67%, a w kierunku S – 78%, natomiast powierzchnie płaskie w bliskim ich sąsiedztwie – 70%. Punkty P5 i P6 miały zbliżone wartości albedo wynoszące 86–88%. Większym zróżnicowaniem wartości albedo charakteryzowały się powierzchnie położone w pobliżu punktów P7 i P8, gdzie wartości zmieniały się od 78 do 88%. Najwyższe wartości albedo, dochodzące do 90%, zanotowano na polu firnowym.

Uzyskane wyniki potwierdziły wcześniejsze badania (Hubley 1955), że im mniejszy kąt padania promieni słonecznych i większy udział promieniowania bezpośredniego tym albedo jest większe.

W dniu tym wykonano także serie pomiarów w punktach zacienionych przez otaczające szczyty Wijkander. Albedo w tych punktach, niezależnie od rodzaju podłoża, miało bardzo zbliżone wartości. W dużej mierze spowodowane jest to brakiem promieniowania bezpośredniego.

3. Dzień 11 sierpnia 2001 – niebo z dużym zachmurzeniem (9/10) przez chmury piętra wysokiego (Ci fib, Ci unc) i średniego (Ac pe tr) i niewielkim (3/10) przez chmury niskie (Sc pe, St fra), pomiary w godzinach górowania Słońca (kąt padania ok. 27,5°).

Pomiary albedo były wykonywane po okresie występowania wysokich temperatur i opadów deszczu, które spowodowały intensywną ablację powierzchniową. Podobnie jak we wcześniejszych pomiarach najniższe wartości zanotowano na czole lodowca (P1) – 17%. Było to wynikiem znacznego zanieczyszczenia powierzchni przez wytopiony materiał. W punkcie P2 występował lód nałożony pokryty cienką warstwą wody, dodatkowo występowały nagromadzenia materiału pylastego i mokrego mułu. Albedo w tym punkcie i jego okolicach wynosiło od 24 do 33%. W punkcie P3, gdzie wyraźnie zmalał stopień zanieczyszczenia powierzchni oraz jej uwodnienie albedo wzrosło do 48%. Podobne warunki występowały w punkcie P4, P5, P6 i P7, gdzie albedo wahało się od 40 do 50%. Niższe wartości (40%) występowały nad powierzchniami z wytopieniami kriokonitowymi wypełnionymi wodą. Bardzo duże zróżnicowanie występo-

wało w pobliżu punktu P8 i na polu firnowym (P9). Warunki meteorologiczne spowodowały duże uwodnienie tego obszaru (papka wodno-śnieżna – slush) oraz pojawienie się na powierzchni materiału mineralnego. W przypadku papki wodno-śnieżnej albedo wynosiło 28–33%, a powierzchnie z namulami o dużym uwodnieniu miały wartości od 14 do 21%. Najwyższe wartości albedo (38%), w okolicach punktu P8, zanotowano nad lodem średnio zabrudzonym nie pokrytym wodą. Na polu firnowym pokrytym świeżym mokrym śniegiem albedo wahało się od 51 do 58%. Powyższe wyniki potwierdziły wpływ obecności wody na powierzchni na wartości albedo (Kejna 2000).

4. Podsumowanie

Na Lodowcu Scotta w sezonie letnim 2001 r. występowała znaczna zmienność albedo w czasie. Zmiany te wykazywały duże zależności od właściwości fizycznych powierzchni lodowca. W różnych częściach lodowca, wpływały na nią głównie warunki meteorologiczne powodujące zmiany powierzchni lodowca np. obecność śniegu świeżo spadłego, uwodnienie górnej warstwy śniegu, zmycie powierzchni przez intensywny opad. W czasie sezonu letniego albedo zmniejszało się na czole lodowca w związku z zanikiem cienkiej warstwy śniegu pozimowego odsłaniającej zabrudzenia powierzchni materiałem morenowym i eolicznym. W środkowej części lodowca zmieniało się wraz z zawartością wody w śniegu i na powierzchni lodowca (topnienie) oraz tworzeniem się lodu nałożonego pozbawionego zanieczyszczeń mineralnych. Na polu firnowym zmiany wartości albedo związane były z topnieniem śniegu pozimowego oraz tworzeniem się pokrywy ze śniegu świeżego.

W sezonie letnim 2001 r. wystąpiło duże zróżnicowanie przestrzenne albedo. Najmniejsze jego wartości (15–25%) wystąpiły na czole lodowca pokrytym lodem nałożonym z licznymi wytopieniami kriokonitowymi wypełnionymi wodą lub zanieczyszczonym materiałem morenowym i eolicznym. Nieco wyższe wartości (40–60%) stwierdzono w dolinach rzek supraglacialnych oraz w strefie zalegania wody powierzchniowej z topnienia śniegu (slush). Największe wartości albedo występowały na polu firnowym, gdzie zalegał śnieg pozimowy, często przekształcony lub śnieg świeży przewiany (60-85%). Po opadach świeżego, czystego śniegu albedo wzrastało powyżej 88%.

Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze badania prowadzone na obszarze Svalbardu (Kejna 2000, Mielnik i in. 1999, Nowak 2003, Staroń i in. 1998) oraz w innych rejonach świata (Brock i in. 2000, Chudzia 1998, Hubley 1955, Oerlemans i Knap 1998).

Literatura

- Bartoszewski, Gluza A., Siwek K., 2003, Meteorological conditions of the Scott Glacier's ablation in the summer of 2001, XXIX International Polar Symposium, Olech M. (ed.), Kraków: 143-148.
- Brock B., Willis I. C., Sharp M. J., 2000, Measurement and parameterization of albedo variations at Haut Glacier d'Arolla, Switzerland, *The Journal of Glaciology*, 46, 155: 675-688.
- Chudzia D., 1998, Wpływ właściwości fizycznych pokrywy śnieżnej oraz niektórych zjawisk atmosferycznych na dobową i sezonową zmienność albedo, *Acta Univ. Wratislaviensis*, 2022, Prace Instytutu Geograficznego, C, Meteorologia i Klimatologia, V, Wrocław: 69-80.
- Głowicki B., 1985, Radiation conditions in the Hornsund area (Spitsbergen), *Pol. Polar Res.*, 6, 3: 301-318.
- Gurgul H., Staroń W., Mielnik J., Stochmal W., 2003, Albedo of water, snow and ice. *Polish Polar Studies*, 29th International Polar Symposium, Kraków: 181-190.
- Hubley R. C., 1955, Measurements of diurnal variations in snow albedo on Lemon Creek Glacier, Alaska, *The Journal of Glaciology*, 2, 18: 560-563.

- Kejna M., 2000, Albedo of the Waldemar Glacier surface (Spitsbergen) in summer season 1999, Polish Polar Studies, 27th International Polar Symposium, Toruń: 181-190.
- Mielnik J., Staroń W., Gurgul H., 1999, Influence of mineral suspension on albedo of ice on Hans Glacier. Polish Polar Studies, 26th International Polar Symposium, Lublin: 177-182.
- Merta T., Odzimek W., 1990, Evaluation of changes at the forefield of the Scott Glacier based on the photogrammetric data, Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen, J. Repelewska-Pękalowa, K. Pękala (ed.), Lublin: 51-58.
- Nowak S., 2003, The relationship between the change of physical properties of the glacier surface and the albedo throughout the 2002 ablation season on Waldemarbreen, Svalbard, XXIX International Polar Symposium, Olech M. (ed.), Kraków: 225-233.
- Oerlemans J., Knap W. H., 1998, A 1 year record of global radiation and albedo in the ablation zone of Morteratschgletscher, Switzerland, The Journal of Glaciology, 44, 147: 231-238,
- Paszyński J., Miara K., Skoczek J., 1999, Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego, Dokumentacja Geograficzna, 14, Warszawa: 127 s.
- Piasecki J., 1988, Przebieg ablacji i strefy glacialne lodowców Scotta i Renarda (Zachodni Spitsbergen) w sezonie ablacyjnym 1987 r., Wyprawy Geograficzne UMCS na Spitsbergen, J. Repelewska-Pękalowa, K. Pękala (ed.), Lublin: 77-91.
- Staroń W., Mielnik J., Gurgul H., Gaśowski R., 1998, Analysis of reflected and incident radiation intensity in selected parts of Hans Glacier. Polish Polar Studies, 25th International Polar Symposium, Warszawa: 287-293.
- Zagórski P., 2002, Rozwój rzeźby litoralnej północno-zachodniej części Ziemi Wedela Jarlsberga (Spitsbergen), maszynopis w Zakładzie Geomorfologii INoZ UMCS Lublin.

THE 'ALBEDO' DIFFERENTIATION AT SCOTT'S GLACIER (W SPITSBERGEN)

Summary

The aim of the present study was the quantitative determination of 'albedo' which is a significant factor influencing the balance of short-wave radiation. The value of surface albedo allows to determine its role in the heat balance of the active surface which in turns influences the ablation level.

Studies on the accumulation and ablation conditions of the snow cover commenced on Scott's Glacier in 1987. On average, the thickness of the frontal part decreased by 75 m, i.e. 2.7 m annually. Deception of the glacier was confirmed by studies carried out in 2001 during which it was found that Scott's Glacier had decreased in its surface area by over 10% in the period 1986–2001. Three types of active surfaces, i.e.: land, ice and water, play a significant role in the radiation balance of the Arctic. During the summer months practically all the heat reaching the surface of the earth is taken up in thawing the ice.

In the summer of 2001, a substantial variation of albedo occurred on Scott's Glacier. The above changes depended to a large extent on the physical properties of the glacier's surface. High spatial differentiation of albedo was also observed in the period studied (i.e. the summer of 2001). The lowest values (15-25%) occurred at the front of the glacier which was covered with ice and numerous kryokonite smelts filled with water or polluted with morenic or eolic material. Somewhat higher values (40-60%) were found in the supra-glacial river valleys and in the zone of surface water deposits as they turned into slush. The highest albedo values occurred in the firm field where leveled snow, often firm, or fresh wind-blown snow was deposited (60–85%). After the precipitation of the fresh, clean snow, albedo increased and reached values above 88%.