

Historia zlodowacenia południowego Spitsbergenu w holocenie

History of glaciation of southern Spitsbergen in the Holocene

Lista artykułów składających się na rozprawę doktorską

1. Osika A., Jania J., Szafraniec J.E., 2022: Holocene ice-free strait followed by dynamic Neoglacial fluctuations: Hornsund, Svalbard. *The Holocene*, 32(7), 664–679. <https://doi.org/10.1177/09596836221088232> – 140 pkt; IF: 1,8
2. Osika A., Jania J., 2024: Geomorphological and historical records of the surge-type behaviour of Hansbreen (Svalbard). *Annals of Glaciology*, 65, e31. <https://doi.org/10.1017/aog.2024.32> – 100 pkt. MNiSW; IF: 2,1
3. Osika A., Jania J., Piotrowska N., Tikhomirov D., Szafraniec J.E., Devendra D., Christl M., Egli M., Vieli A., 2025: Holocene glacial history of southern Spitsbergen. Złożono do *Quaternary Science Reviews* dnia 22.09.2025 r.

STRESZCZENIE

Konsekwencją współczesnego ocieplenia klimatu jest recesja lodowców różnych regionów świata, w tym Svalbardu, który od 1979 r. ocieplał się siedem razy szybciej, niż średnia globalna. Szczególnie wrażliwe na ocieplenie klimatu są nisko położone lodowce południowego Spitsbergenu, które wykazują jedne z najbardziej negatywnych wartości bilansu masy na Svalbardzie. Znajomość fluktuacji lodowców w przeszłości, w szczególności w okresach cieplejszego klimatu i recesji lodowców, jest istotna dla zrozumienia możliwych skutków współczesnego ocieplenia Arktyki. Mimo rozwoju badań paleogeograficznych Svalbardu, większość opracowań dotyczy centralnej i północnej części Spitsbergenu. Ewolucja lodowców południowej części archipelagu w okresie poprzedzającym regularny monitoring w oparciu o badania terenowe i dane teledetekcyjne pozostaje stosunkowo słabo rozpoznana. Celem niniejszej pracy była rekonstrukcja zmian zasięgu wybranych lodowców południowego Spitsbergenu w holocenie, w tym (1) wyznaczenie okresów awansów i recesji lodowców na podstawie wyników datowania ^{14}C i ^{10}Be , (2) identyfikacja znaczenia szarż lodowców na podstawie dowodów geomorfologicznych i materiałów historycznych oraz (3) wskazanie głównych czynników warunkujących zmiany zasięgu wybranych lodowców w holocenie. Obszar szczegółowych badań obejmował lodowce Hornbreen, Hansbreen, Vestre Torellbreen i Werenskioldbreen oraz ich przedpola. Wykorzystałam także obserwacje porównawcze, dane literaturowe oraz historyczne dane kartograficzne i fotograficzne dla innych lodowców badanego regionu.

Wyniki kartowania geomorfologicznego przedpola lodowców przeprowadzonego w oparciu o dane teledetekcyjne wysokiej rozdzielczości i badania terenowe wykazały obecność charakterystycznych form rzeźby terenu dla lodowców szarżujących, jak grzbiety z wyciśnięcia szczelin dennych (crevasse-squeeze ridges, CSRs), ozy harmonijkowe (concertina eskers), lineacje lodowcowe (streamlined glacial lineations) oraz moreny czołowe spiętrzone. Podczas badań pobrałam próbki muszli małży morskich, tundry subfosylnej i drewna dryftowego. Wykorzystałam także cztery próbki muszli małży i żebra wieloryba z osadów lodowcowych z zasobów Instytutu Nauk o Ziemi. 63 nowe daty radiowęglowe zestawiałam z opublikowanymi wcześniej datami z przedpola badanych lodowców (25 próbek). Wyniki datowania radiowęglowego pozwoliły na wskazanie okresów recesji lodowców i kolonizacji nowych fiordów przez małże i lądowych części przedpola przez roślinność tundrową. Oprócz próbek materiału organicznego do datowania ^{14}C , podczas badań terenowych pozyskałam łącznie 11 próbek głązów z moreny i trimline lodowca Hansbreen do datowania metodą izotopu kosmogenicznego ^{10}Be . Wyniki datowania ^{10}Be wykazały anomalnie „postarzone” wartości nie odzwierciedlające rzeczywistego wieku moren, co przypisałam obecności nuklidów odziedziczonych z wczesnego i środkowego holocenu.

Mapy historyczne z XVII–XX w. dostarczyły danych jakościowych na temat zmian zasięgu lodowców uchodzących do morza, których przejawem były zmiany długości poszczególnych odgałęzień Hornsundu. Fotografie archiwalne z 1872, 1899–1901, 1917–1918 i 1936 r. pozwoliły mi zidentyfikować dowodów szarż lodowców, jak zafałdowania i zapętlenia moren środkowych oraz zafalowania foliacji, zestromienie czoł w formie nabrzmiątych lobów, silne i chaotyczne uszczelinienie powierzchni sięgające często górnej części lodowca oraz widoczne strefy ścinania na granicy lodowca szarżującego z lodowcami dopływowymi w fazie uspokojenia.

Na podstawie nowych wyników datowania, opublikowanych dat ^{14}C i ^{10}Be , materiałów historycznych oraz opublikowanych danych paleoklimatycznych wyróżniłam następujące okresy zmian zasięgu wybranych lodowców południowego Spitsbergenu: (1) deglację, (2) recesję lodowców we wczesnym i środkowym holocenie, (3) rozwój lodowców w pierwszej połowie późnego holocenu, (4) awanse lodowców ok. 2,2–1,5 ka cal BP, (5) recesję lodowców ok. 1,5–1,0 ka cal BP, (6) awanse lodowców od ok. 0,7 ka cal BP oraz (7) Małą Epokę Lodową (MEL). Wyniki datowania radiowęglowego muszli z moreny czołowej lodowca Werenskioldbreen wskazały na [jego](#) recesję przed 12,5 ka cal BP, która utrzymywała się do okresu wyniesienia terasy morskiej po 10,0 ka cal BP. Najstarsze próbki muszli pobrane z przedpoli pozostałych lodowców (Hansbreen: 11,3 ka cal BP, Hornbreen: 10,9 ka cal BP, Vestre Torellbreen: 10,5 ka cal BP) wykazały ich recesję w podobnym okresie. Nowe i pozyskane z literatury daty radiowęglowe dowiodły recesji lodowców we wczesnym i środkowym holocenie, kiedy klimat Svalbardu był cieplejszy, niż współcześnie. Daty radiowęglowe dostarczyły również przesłanek ograniczonego zasięgu lodowców (w porównaniu z maksimum MEL) w pierwszej połowie późnego holocenu i recesji ok. 1,6–0,7 ka cal BP, co mogło być związane ze wzrostem temperatury powietrza i wody morskiej w obszarze badań. Zidentyfikowane maksymalne zasięgi lodowców z późnego holocenu były efektem szarż poprzedzonych długotrwałym gromadzeniem masy w strefie rezerwurowej w warunkach chłodniejszego klimatu oraz prawdopodobnym wzrostem śnieżnych opadów atmosferycznych w okresie narastania fazy ocieplenia. Czynnikiem wyzwalającym mogła być zwiększona dostawa wód roztopowych do podłoża lodowców w okresach cieplejszych. Konsekwencją synchronicznych szarż lodowców było zamknięcie cieśniny Hornsund i rozwój pomostu lodowego łączącego Torell Land i Sørkapp Land.

Szczególną uwagę poświęciłam systemowi glacialnemu Hornbreen-Hambergbreen, którego dynamika decyduje o funkcjonowaniu Hornsundu jako fiordu lub cieśniny między Morzem Grenlandzkim i Morzem Barentsa. Fluktuacje lodowców odtworzyłam na podstawie nowych i opublikowanych dat ^{14}C oraz opublikowanych dat ^{10}Be głazów morenowych z przedpola lodowca Hornbreen. Recesja lodowców we wczesnym holocenie doprowadziła do otwarcia cieśniny ok. 10,9 ka cal BP lub wcześniej. Awans lodowców i zamknięcie cieśniny nastąpiły ok. 3,9 ka cal BP lub później, ok. 2,1 ka cal BP lub dopiero $1,9 \pm 0,3$ ka (Philipps i in., 2017). Ponowne otwarcie cieśniny mogło nastąpić ok. 1,3 ka cal BP do kolejnego awansu lodowców ok. $0,7 \pm 0,2$ ka (Birkenmajer, Olsson, 1997; Philipps i in., 2017).

Fluktuacje lodowców obszaru badań przebiegały synchronicznie z pozostałą częścią Svalbardu i podobnie jak w innych regionach, odzwierciedlały zmiany temperatury powietrza i wody morskiej. Nisko położone strefy akumulacyjne sprzyjały szybkiej recesji lodowców w okresach ocieplenia i jednocześnie ograniczały tempo ich odbudowy w okresach chłodniejszych. Wyniki wskazują na kluczową rolę szarż lodowców w ewolucji pokrywy lodowej regionu, które m.in. kilkakrotnie doprowadziły do utworzenia pomostu lodowego łączącego Torell Land i Sørkapp Land.

Słowa kluczowe: lodowce, Svalbard, szarże lodowców, fluktuacje lodowców, geomorfologia glacialna, datowanie radiowęglowe, optimum klimatyczne holocenu, neoglacjał, średniowieczny okres ciepły, mała epoka lodowa