

ZMIENNOŚĆ ZASILANIA WÓD ZATOKI ADMIRALICJI LODEM Z LOKALNYCH KLIFÓW LODOWYCH W ŚWIETLE WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH LATEM 1994/95

Grzegorz Kruszewski

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej Wydziału Nawigacyjnego
Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni

Wstęp

Jednym z elementów bilansu wodnego akwenów otoczonych przez powierzchnie lądowe częściowo lub całkowicie zlodowacone jest dopływ wód słodkich do wód morskich w postaci lodu lodowcowego. Zjawisku zasilania wód morskich lodem pochodzenia lodowcowego w postaciach mniejszych niż góry lodowe nie poświęcano do tej pory zbytnej uwagi. O ile literatura dość obszernie traktuje zjawiska genezy, form i występowania gór lodowych, zwłaszcza dużych rozmiarów, o tyle drobniejszymi formami lodu odłamującymi się z brzegów lodowych praktycznie się nie zajmowano.

W skali niewielkich zatok morskich, na przykład Zatoki Admiralicji - zasilanie drobnymi formami lodu lodowcowego wydaje się być jedną z głównych dróg odprowadzania nadwyżek w bilansie masy lokalnych lodowców. Wskutek stosunkowo niewielkich rozmiarów, lodowce uchodzące do Zatoki Admiralicji praktycznie nie produkują form lodu większych niż odłamy czy małe góry lodowe (Kruszewski 1996,1997). Znaczna większość uwalnianego z klifów lodowych lodu posiada formę growlerów i druzgotu lodowego.

Zasilanie wód Zatoki Admiralicji lodem z lokalnych lodowców charakteryzuje się znaczną zmiennością zarówno przestrzenną jak i czasową. Zimą 1995 roku, pojawienie się pokrywy lodu morskiego ograniczyło występowanie tego procesu w czasie, od trzech do sześciu miesięcy, zależnie od subakwenu. W okresie antarktycznego lata obserwuje się także wyraźną zmienność nasilenia zjawiska zarówno na poszczególnych odcinkach klifów lodowych, jak i w czasie.

Przyczyn zmienności zasilania Zatoki Admiralicji lodem lodowcowym szukać należy zarówno wśród czynników natury glaciologicznej (prędkość ruchu lodowca, stopień uszczelinienia, rzeźba podłoża lodowca, ...) jak i meteorologicznej (temperatura powietrza, usłonecznienie, występowanie opadu ciekłego, etc.) czy hydrologicznej (pływy, prądy, falowanie). Zwracał na to uwagę Marsz (1987), przypisując dużą rolę w kształtowaniu bilansu klifów lodowych usłonecznieniu (wietrzeniu słonecznemu) czy siłom wyporu hydrostatycznego podczas wysokich wód w odniesieniu do kęsów lodu odłamujących się z części zanurzonej klifu.

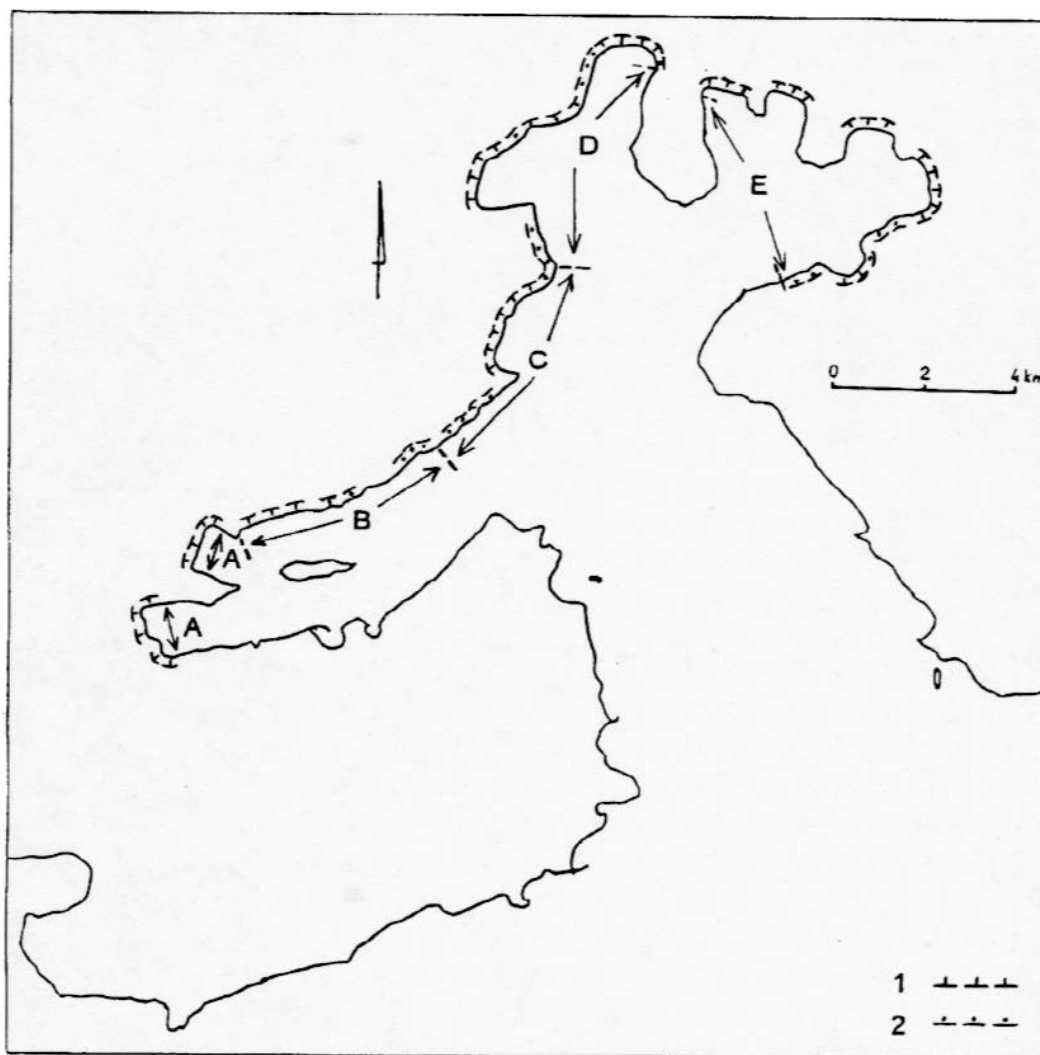
Praca ta jest próbą oceny wpływu warunków meteorologicznych na incydenty obłamywania się lodu z lokalnych klifów lodowych w oparciu o systematyczne obserwacje nad występowaniem lodu lodowcowego na wodach Zatoki Admiralicji z okresu XII 94 - VI 95.

Metoda badawcza

Analizie poddano okres sześciu miesięcy, w trakcie których praktycznie nie występuje na wodach Zatoki lód inny niż pochodzenia lodowcowego. W związku ze znacznym zróżnicowaniem zjawiska w przestrzeni dokonano podziału klifów na pewne odcinki, kierując się częściowo ich ekspozycją jak też maksymalnym uproszczeniem identyfikacji obszaru źródłowego dla występujących na wodzie skupisk lodu. Stąd konieczne uogólnienia, traktujące klify lodowe zatok Martel czy Mackellar jako jeden odcinek. Dokonany podział ilustruje rycina 1.

Poszczególne odcinki brzegów lodowych oznaczono literami A - E. Następnie wynotowano daty pojawiania się pól druzgotu w sąsiedztwie poszczególnych odcinków klifów lodowych. Obliczono długości okresów pomiędzy kolejnymi incydentami (od pierwszego zaobserwowanego licząc) jak również sumy usłonecznienia (ΣU) i sumy dodatnich średnich dobowych temperatur powietrza (ΣT) dla tych okresów. W ten sposób przeanalizowano

czy istnieje bezpośrednia zależność pomiędzy ilością docierającej energii promienistej, czy temperaturami powietrza, a częstością obsypywania się lodu z poszczególnych klifów. W dalszej części analizowano wpływ dobowych sum usłonecznienia w dniu zaobserwowania obwału i dniu poprzedzającym jak również maksymalnej prędkości wiatru notowanej w dniu poprzedzającym lub danym, do momentu obserwacji zjawiska. Zwrócono uwagę na występujące w poszczególnych przypadkach skoki pływu, wyznaczając okresy pływów syzygijnych, a więc o największym skoku.



Ryc. 1. Podział brzegów Zatoki Admiralicji na odcinki na tle rozmieszczenia klifów lodowych. A, B, C, D, E - wydzielone odcinki brzegów, 1 - klify lodowe głęboko zanurzone, 2 - pozostałe odcinki brzegów lodowych

Fig. 1. Partition of shores in Admiralty Bay for sectors and ice cliff positions. A, B, C, D, E - selected shore sectors, 1 - deep plunged ice cliffs, 2 - another ice shores

Już wstępna analiza wykazała brak związków między występowaniem opadów ciekłych a aktami obłamywania się lodu z klifów, w związku z czym nie zestawia się danych o opadach i pomija wpływ działania tego czynnika.

Rezultaty

Na poszczególnych odcinkach brzegów lodowych zaobserwowano bardzo różną okresowość obwałów wynoszącą w skrajnym przypadku 5 i 31 dni (odcinek E). Sumy usłonecznienia dla tych okresów wyniosły odpowiednio 37.4 i 98.8 godzin, a sumy dodatnich średnich dobowych temperatur powietrza 6.1 i 45.9 deg. Szczegółowe zestawienie długości okresów pomiędzy kolejnymi aktami zasilania w lód lodowcowy wraz z odpowiadającymi im sumami usłonecznienia i sumami dodatnich średnich dobowych temperatur powietrza dla poszczególnych odcinków brzegów zawiera tabela 1.

Analiza tabeli 1 pozwala zauważyć, że na poszczególnych odcinkach brzegów dochodzi do zasilania lodem z różną periodycznością. W analizowanym okresie, najczęściej lodu dostarczał brzeg C (19 razy), a najrzadziej brzeg A (tylko 8 razy). Na odcinku B do obwałów doszło szesnastokrotnie, a brzegi oznaczone jako D i E dwunastokrotnie zasiliły lodem wody Zatoki. Przyczyn tych różnic należy chyba szukać w prędkości ruchu lodowców budujących poszczególne fragmenty brzegów lodowych. Wyraźnie widoczny jest brak związków pomiędzy sumami średnich dobowych dodatnich temperatur powietrza, a występowaniem zjawiska osypywania się lodu z klifów. Podobnie trudno doszukać się wyraźniejszej zależności pomiędzy sumami usłonecznienia w poszczególnych okresach oddzielających osypywanie się lodu na konkretnym odcinku brzegu.

Ciekawe wyniki daje natomiast próba określenia wpływu skoku pływu na występowanie zjawiska osypywania się lodu. Biorąc pod uwagę wszystkie daty zarejestrowanych incydentów, 74% z nich przypadało na dni z pływem syzygijnym lub do dwóch dni przed, lub po najwyższej wysokiej wodzie. Podobna analiza obejmująca występowanie (w okresie doby poprzedzającej i do momentu obserwacji) wiatru o sile 5°B (8 m/s) lub większej przyniosła także obiecujące rezultaty. Wiatr taki zanotowano w ponad 67% analizowanych przypadków. Kolejnym czynnikiem który wzięto pod uwagę była suma usłonecznienia z dnia poprzedzającego obserwację lub dnia obserwacji (wartość większa). Aby chociaż częściowo wyeliminować

zmiany teoretycznie możliwych wartości tych sum, obliczono średnie miesięczne wartości usłonecznienia rzeczywistego, a pod uwagę wzięto tylko te przypadki, w których usłonecznienie było równe bądź wyższe od średniej w danym miesiącu. Sytuacja taka miała miejsce w 29 na 46 dni (63%) z zaobserwowaną dostawą lodu z klifu lodowego do wód Zatoki.

Tabela 1 - Table 1

Liczba dni pomiędzy obserwowanymi obwałami lodu oraz towarzyszące tym okresom sumy usłonecznienia (ΣU) w [h] i średnich dobowych dodatnich temperatur powietrza (ΣT) w [deg] dla poszczególnych fragmentów brzegów (A, B, C, D, E)

Number of days between observed ice calving processes and corresponding to this periods sunshine duration sums (ΣU) in [h] and daily mean positive air temperature sums (ΣT) in [deg] for different shore sectors (A, B, C, D, E)

A			C			D		
Dni Days	ΣU	ΣT	Dni Days	ΣU	ΣT	Dni Days	ΣU	ΣT
18	106.2	52.4	10	39.7	28.8	7	40.8	18.2
22	91.1	100.6	6	34.7	22.9	5	27.9	17.3
7	34.8	16.4	7	41.3	10.2	21	89.5	81.6
21	64.1	51.3	14	78.4	32.2	13	66.6	54.4
26	64.6	15.9	5	27.9	17.3	7	30.0	14.3
21	26.0	23.2	15	73.6	64.1	20	59.1	48.0
9	1	6.6	8	26.6	24.1	13	48.3	4.1
B			5	23.8	27.3	12	8.8	5.8
16	71.6	49.9	6	32.1	20.5	8	9.7	7.2
3	10.0	2.6	6	30.0	12.0	21	21.3	22.6
3	26.7	4.9	17	47.6	38.7	25	12.0	12.2
13	61.9	29	4	11.5	11.7	E		
18	109.6	69.7	13	48.3	4.1	7	41.3	10.2
15	58.8	58.1	4	6.8	-	5	37.4	6.1
8	32.1	29.8	6	1.6	5.8	13	64.9	41.2
5	30.0	10.9	15	18.7	21.7	22	93.5	83.8
4	17.4	10.0	10	5.4	6.6	14	66.6	55.5
13	30.2	28.7				8	38.6	19.4
19	65.9	15.7				31	98.8	45.9
14	9.6	7.3				5	7.1	3.4
17	18.7	23.6				9	4.8	3.9
8	5.4	4.6				6	6.6	5.7
25	12.0	12.2				21	21.3	22.6

- temperatury ujemne negative temperatures

Odpowiednie wartości procentowe z uwzględnieniem podziału na poszczególne odcinki brzegu prezentuje tabela 2.

Tabela 2 - Table 2

Częstość występowania [%] poszczególnych czynników podczas obwałów lodu na różnych odcinkach brzegów i dla całej Zatoki Admiralicji (P - pływ syzygijny występujący w okresie ± 2 dób od momentu wystąpienia obwał, U - usłonecznienie w dniu poprzedzającym obwał lub w dniu obwał większe od średniej miesięcznej, W - wiatr o sile 5°B lub większej w dniu obwał lub poprzedzającym obwał)

Frequency [%] of appearance particular factors during ice calving for different shore sectors and for Admiralty Bay (ZA), (P - spring tide appearance ± 2 days from ice calving date, U - sunshine duration in the day of calving or day before higher than monthly mean value, W - wind force 5°B or more in the day of calving or day before)

Brzeg Shore	P	U	W
A	88	75	75
B	75	69	69
C	79	68	53
D	75	50	67
E	67	75	58
ZA	74	63	67

Najmniejszą zmiennością pomiędzy poszczególnymi odcinkami brzegów charakteryzuje się oddziaływanie pływów, największą wpływ usłonecznienia. Największa stabilność pływu jako jednego z czynników warunkującego procesy zasilania wód Zatoki Admiralicji lodem lodowcowym wydaje się zupełnie jasna. Pływ jest zjawiskiem o skali globalnej, modyfikowanym lokalnie przez kształt zbiornika. W przypadku stosunkowo małego akwenu, różnice w jego oddziaływaniu nie mogą być jednak duże. Różnice w stopniu zdeterminowania obwałów lodu wiatrem o sile 5°B lub większej wydają się być podyktowane czynnikami lokalnymi, głównie przeważającymi kierunkami wiatrów, a więc i kierunkiem oraz wielkością generowanej fali oddziałującej na podstawy klifów lodowych. Przymuszczalnie w podobny sposób wpływ sum usłonecznienia modyfikowany jest lokalnie przez ekspozycję klifu lodowego, a więc i faktyczną ilość energii promienistej przezeń otrzymywaną.

Podsumowanie i wnioski

Zagadnienie wpływu warunków meteorologicznych na zasilanie wód lodem z lokalnych klifów lodowych nie zostało wyjaśnione do końca. Udało się wykazać, że czynnikiem nie wywierającym lub wywierającym znikomy wpływ na analizowane zjawisko (w okresie braku pokrywy lodu morskiego) są temperatury powietrza i występowanie opadu ciekłego. Ujawniono pokąźną rolę czynników natury hydrologicznej: bezpośrednio analizowanych skoków pływu oraz falowania, o roli którego można pośrednio wnioskować z siły wiatru - czynnika natury meteorologicznej. Ponad wszelką wątpliwość wykazano także wpływ usłonecznienia jako jednego z czynników determinujących procesy prowadzące w efekcie do aktów zasilania wód Zatoki Admiralicji lodem lodowcowym.

Na pewno istnieją jeszcze inne czynniki, których nie brano tu pod uwagę, a które mogą determinować, w mniejszym bądź większym stopniu, częstość występowania zjawiska. Jednym z nich jest wspomniana we wstępie prędkość ruchu samego lodowca budującego brzeg lodowy. Następnymi mogą być wysokość klifu lodowego czy głębokości przed nim, decydujące między innymi o tym czy jest on stale czy okresowo zanurzony i w jakim stopniu równoważony hydrostatycznie.

Przeanalizowane przypadki aktów zasilania wód Zatoki Admiralicji lodem z klifów lodowych zdają się potwierdzać dość skomplikowany charakter zjawiska. W większości przypadków o fakcie obłamania się lodu z klifu lodowego decyduje równoczesne współdziałanie kilku czynników, których stopień hierarchii (ranga) w kształtowaniu procesu jest bliżej nieznanym. W przebadanej zbiorowości przypadków zazwyczaj więcej niż jeden (a czasem wszystkie trzy) z wymienionych w tablicy 2. czynników miały swój udział w fakcie zaistnienia zjawiska.

Rola działania czynników meteorologicznych nosi wyraźny energetyczny charakter. Są to dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego (radiacja) pochłanianego przez lód oraz wiatr. Działanie tego ostatniego czynnika jest jednak pośrednie - energia kinetyczna z atmosfery zostaje przekazana do wody - i dopiero jako falowane oddziałuje mechanicznie na klify lodowe, powodując ich destrukcję.

Znaleziono także przypadek gdy do aktu zasilenia doszło przy braku któregośkolwiek z poddawanych analizie czynników. Miało to miejsce na

odcinku brzegu C (13 grudnia 1994) przy płycie kwadraturowym (a więc o minimalnym skoku), usłonecznieniu mniejszym niż 20% średniego w tym miesiącu i maksymalnej sile wiatru w okresie poprzedzającym nie przekraczającej 4°B. Oznacza to, że istnieją sytuacje, w których wyłącznie czynnik glaciologiczny (lub inne czynniki nie brane pod uwagę), odpowiedzialny jest za obłamywanie się lodu z klifów lodowych. Jednak jeśli potraktować liczbę zarejestrowanych aktów obłamywania się lodu jako próbę statystyczną, należy stwierdzić, że wystąpienie takich sytuacji jest wyjątkowo rzadkie. Oznacza to, że w warunkach obserwowanych na brzegach lodowych Zatoki Admiralicji podstawowa liczba obłamań i obwałów lodu następuje przy współdziałaniu czynników zewnętrznych.

Literatura

Kruszewski G., 1996. Przebieg zjawisk lodowych na Zatoce Admiralicji w roku 1995 i ich związek z warunkami pogodowymi. *Problemy Klimatologii Polarnej* 6, WSM Gdynia, s.159-178.

Kruszewski G., 1997. Góry lodowe na wodach Zatoki Admiralicji w roku 1995. *Prace Wydziału Navigacyjnego WSM z. 4*, Gdynia, s.57-63.

Marsz A., 1987. Brzegi lodowe. Ossolineum, Wrocław. ss. 113.

VARIABILITY OF SUPPLY ADMIRALTY BAY BY ICE CALVING FROM LOCAL ICE CLIFFS WITH RELATIONS TO METEOROLOGICAL CONDITIONS DURING AUSTRAL SUMMER 1994/95

Paper presents results of investigations on ice calving processes and their relations with atmospheric conditions.

Ice calving processes in Admiralty Bay occurs with different periods on different shore sectors (Table 1). There is no serious connections between periods of ice calving and corresponding to this periods sums of sunshine duration or daily mean positive temperature sums at Arctowski Station. 74% observed processes had place during spring tide (± 2 days). Influence of meteorological conditions on ice calving have probably energetic character (sunshine duration, wind force - via wind waves). Usually more then one (sometimes all three) from presented in Table 2. three factors occurs during registrated ice calving processes.