

OPADY NA STACJI ARCTOWSKIEGO

Andrzej A. Marsz

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej
Wydział Nawigacyjny WSM w Gdyni

WSTĘP

W okresie funkcjonowania stacji meteorologicznej na Polskiej Stacji Antarktycznej im. H.Arctowskiego (1977-1990) pełne serie roczne pomiarów sum opadowych obejmują tylko 11 lat. Są to lata 1978-1983 i 1985-1989. W roku 1984 nastąpiła 5-miesięczna przerwa w pomiarze opadów (od 07 do 11) spowodowana wypadkiem, któremu uległ obserwator. Próba charakterystyki stosunków opadowych oparta o tak krótką i nieciągłą serię pomiarową nie może, rzecz jasna, stanowić opracowania wyczerpującego. Bardzo duża zmienność w czasie tego elementu klimatycznego wymaga dla wyciągania miarodajnych wniosków długich (30-letnich) i ciągłych serii pomiarowych.

Zdając sobie sprawę z niedoskonałości materiałów obserwacyjnych, postanowiono jednak przedstawić uproszczoną charakterystykę stosunków opadowych występujących na Stacji Arctowskiego, mając na względzie fakt, że:

- trudno oczekiwać w możliwej do określenia realnej przyszłości wznowienia obserwacji na Stacji, a tym samym uzyskania wystarczająco długiego i ciągłego ciągu obserwacyjnego,
- opady stanowią jeden z najistotniejszych elementów dla bilansu masy zlodowacenia, a w otoczeniu Stacji Arctowskiego dominują zdecydowanie obszary zlodowacone.

Jako materiały dla wykonania tego opracowania posłużyły dane o opadach zawarte w Rocznikach Meteorologicznych Stacji Arctowskiego za lata 1978-1983 i 1985-1989 opracowane przez pracownię Badań Polarnych i Morskich Oddziału Bałtyckiego IMGW w Gdyni.

ROZKŁAD ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH SUM OPADOWYCH

Opady atmosferyczne w otoczeniu Zatoki Admiralicji charakteryzują się dużą częstością wypadania i stosunkowo małymi sumami opadowymi przypadającymi na jeden opad. Najczęściej wypadającymi i osiągającymi największe sumy opadowe w jednym

opadzie są opady stałe, które wypadają we wszystkich miesiącach roku. Na drugim miejscu pod względem częstości wypadania znajdują się opady mieszane (mżawka z deszczem, śnieg z deszczem). Opady ciekłe, wśród których dominują mżawki i deszcze drobnokropliste, stanowią zaledwie 15-20% sum opadowych. Deszcze i mżawki wypadają, choć oczywiście znacznie rzadziej niż latem, nawet w najchłodniejszych miesiącach roku (06, 07, 08 i 09). Typowym zjawiskiem jest wypadanie w ciągu jednego i tego samego dnia opadów różnego rodzaju. Podobne małe zróżnicowanie występowania rodzajów opadów w czasie zaznacza się na Stacji Bellingshausen (Dolganov, 1986).

Przeciętne, wieloletnie sumy opadowe wynoszą około 530 mm. Ze względu na metodę pomiaru (deszczomierz Hellmanna) sumy te są najprawdopodobniej znacznie zaniżone. Zestawienie przebiegu miesięcznych sum opadowych zawiera tabela 1.

Minimum opadowe zaznacza się w miesiącach zimowych (07, 08), drugorzędne minimum w początku okresu ciepłego (12, 01). Maksimum opadowe występuje w okresie późnego lata i jesienią (02, 03, 04), osiągając maksimum w marcu. 11-letni okres obserwacji opadów na Stacji Arctowskiego pozwala na bardziej precyzyjne określenie rozkładu sum opadowych, niż uczyniono to na podstawie zaledwie 4-letniej serii (Marsz, Rakusa-Suszczewski, 1987), nie likwiduje jednak pewnych niejasności.

Krótkotrwałość serii obserwacyjnej powoduje, że wpływ na wartość średnich miesięcznych wieloletnich sum opadowych mogą wywierać zwiększone sumy opadowe w jednym - dwu latach. Z tego względu, dla precyzyjniejszego określenia momentów występowania maksimum i minimum opadowego bardziej pewna wydaje się analiza rozkładu wystąpienia maksimum i minimum sum opadów miesięcznych w poszczególnych latach oraz częstości występowania odchyłań od średniej miesięcznej wieloletniej o ± 2 i ± 3 odchylenia standardowe. Dane zestawione są w tabeli 2.

Analiza częstości występowania maksimum i minimum w przebiegu rocznym zdaje się wskazywać, że maksimum opadowe rzeczywiście występuje w marcu, sierpniowe minimum opadowe jest prawdopodobne, lecz mniej pewne. Odchylenie standardowe (σ_n) średnich miesięcznych wieloletnich sum opadowych wynosi 12.2 mm. Analizując rozkład częstości wystąpienia określonych sum opadowych ($RR \pm 2 \cdot \sigma_n$ i $RR \pm 3 \cdot \sigma_n$) wyraźniej rysuje się występowanie maksimum opadowego w marcu i minimum opadowego w sierpniu. Jednocześnie wyraźniej zaznacza się występowanie drugorzędne minimum opadowego w miesiącu styczniu i drugorzędne maksimum w listopadzie.

rok	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Σ_r	W
1978	37.7	72.5	87.7	66.8	43.8	76.4	14.7	15.7	47.7	34.8	11.4	54.2	563.4	43.9
1979	27.2	72.9	123.9	113.1	17.0	20.5	60.3	33.7	57.7	29.9	28.9	10.9	596.0	60.3
1980	35.7	75.3	31.6	27.9	44.7	25.1	32.1	47.1	41.2	69.6	47.3	51.7	531.1	26.8
1981	27.1	35.2	19.4	65.9	17.6	31.8	23.0	25.5	49.2	68.9	145.3	82.9	591.8	56.0
1982	16.3	79.4	149.6	79.6	51.2	40.0	8.7	7.6	15.9	19.2	16.8	38.6	522.9	71.0
1983	72.7	31.5	85.9	15.9	60.6	36.2	55.6	32.4	73.5	27.0	46.4	25.5	559.6	40.5
1985	28.8	87.9	31.9	97.0	10.9	17.3	42.2	30.5	105.8	22.1	14.1	63.8	552.3	61.7
1986	37.8	34.4	62.4	33.7	21.8	77.9	50.7	32.1	31.7	27.6	21.9	24.5	456.5	33.7
1987	32.8	53.8	47.5	41.7	35.3	25.4	16.9	19.0	14.2	16.2	82.4	40.2	425.4	41.5
1988	20.4	48.5	43.5	25.3	25.9	55.8	32.7	6.3	26.1	43.9	22.6	26.3	377.3	35.6
1989	10.3	84.5	91.6	19.0	106.0	54.5	67.6	19.1	73.2	51.8	30.6	21.9	630.1	51.5
sr	31.5	61.4	70.5	53.3	39.5	41.9	36.8	24.5	48.7	37.4	42.5	40.0	527.9	*
on	15.5	20.3	39.3	31.7	25.9	20.4	19.0	11.7	26.4	18.0	37.9	20.4	70.1	*
max	72.7	87.9	149.6	113.1	106.0	77.9	60.3	47.1	105.8	69.6	145.3	82.9	630.1	71.0
min	10.3	31.5	19.4	19.0	10.9	17.3	8.7	6.3	14.9	16.2	11.4	10.9	377.3	26.8

Tabela 1. Sumy opadów miesięcznych rocznych na Stacji Arctowskiego (mm) w latach 1978-1983 i 1985-1989.

Tabela 2. Częstość wystąpienia rocznego maksimum i minimum opadowego w poszczególnych miesiącach (Max, Min) oraz częstość występowania miesięcznych sum opadowych większych i mniejszych od średnich o ± 2 i $\pm 3 \cdot \sigma_n$ na Stacji Arctowskiego (11 lat obserwacji).

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Max	0	1	4	0	1	2	0	0	1	0	2	0
Min	1	0	0	1	2	1	1	2	1	0	1	1
>68.4	1	6	5	3	1	2	0	0	2	1	2	1
<19.6	2	0	1	2	3	1	3	5	2	2	3	1
>80.6	0	2	5	2	1	0	0	0	1	0	2	1
< 7.6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

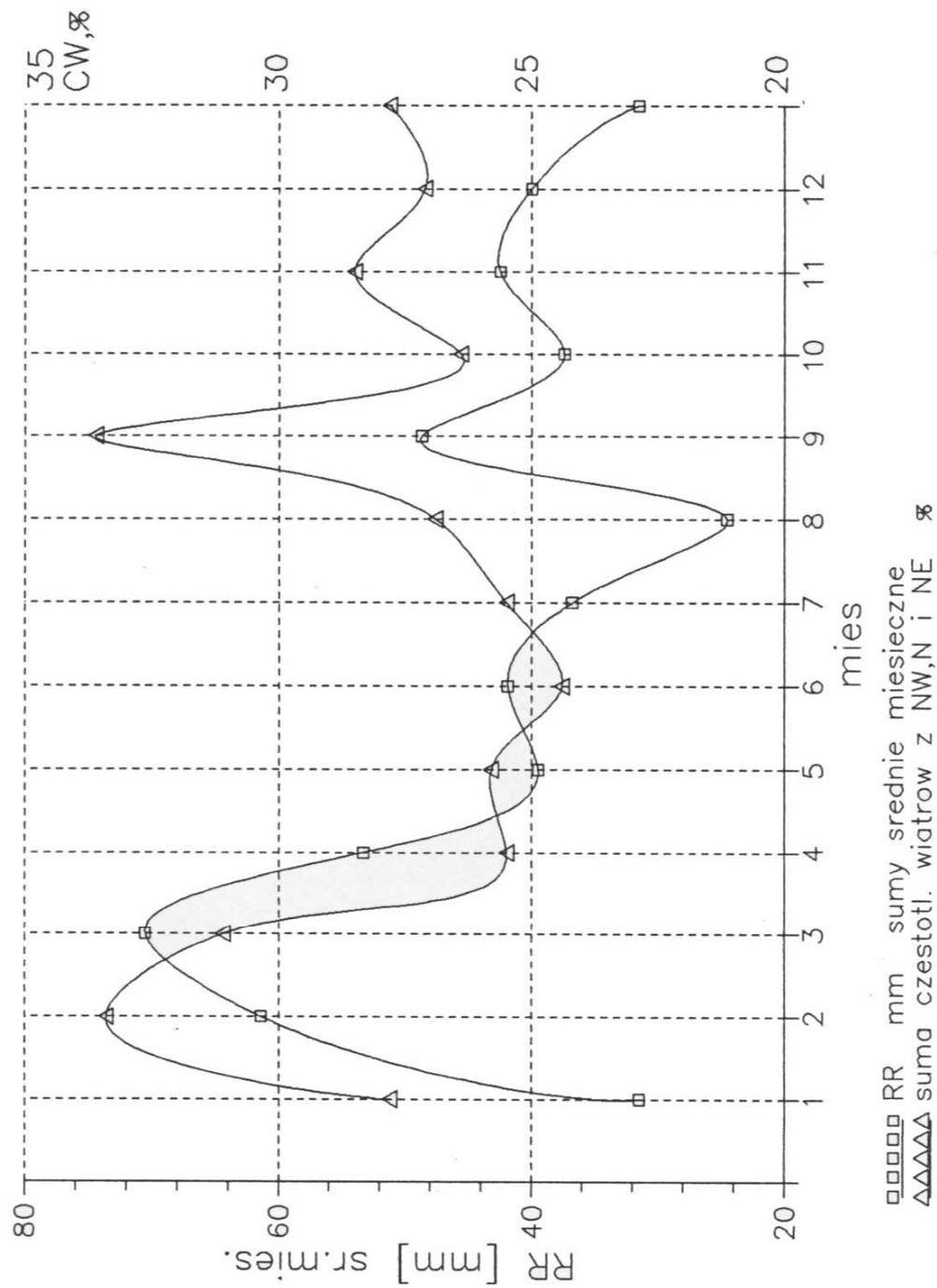
Tego rodzaju rozkład minimum i maksimum opadowego, wykazujący istotne przesunięcie czasowe względem innych stacji jest dość dziwny i nie spotykany na innych stacjach w Antarktyce. Zwłaszcza dziwne jest występowanie podstawowego minimum opadowego w sierpniu.

Zdecydowana większość stacji położonych w rejonie Półwyspu Antarktycznego i Południowych Sztetlandów charakteryzuje się występowaniem maksimum opadowego w marcu lub kwietniu, minimum przypada na grudzień lub styczeń. Żadna jednak ze stacji tego rejonu nie notuje występowania minimum opadowego w sierpniu. Miesiące zimowe są na stacjach tego rejonu na ogół dość obfite w opady.

Na Stacji Bellingshausen maksimum opadowe występuje, podobnie jak i na Stacji Arctowskiego w marcu (Martianov, Rakusa-Suszczewski, 1990; Sprawochnik, 1977 - tab. 50). Minimum opadowe występuje tam w styczniu (Dolganov, 1986; Martianov, Rakusa-Suszczewski, 1990), nie zaś w końcowej fazie zimy, tak jak na Stacji Arctowskiego.

Trudno rozstrzygnąć, czy występowanie wyraźnego minimum opadowego na Stacji Arctowskiego w sierpniu stanowi indywidualną cechę klimatu spowodowaną przez działanie bliżej niejasnych czynników lokalnych, czy wynik procesu losowego (krótka seria obserwacyjna, okres obserwacji odmienny od okresów obserwacji na pozostałych stacjach).

Wystąpienie maksimum opadowego w marcu na stacjach morskiej Antarktyki wiązać można z występowaniem w tym miesiącu najwyższych temperatur powierzchni wody morskiej. Zwiększa to parowanie ze swobodnej powierzchni wody, a wobec wy-



Ryc. 1. Rozkład sum opadów średnich miesięcznych (RR, mm) w ciągu roku na tle częstotliwości wiatrów z sektora NW, N i NE w poszczególnych miesiącach na Stacji Arctowskiego.

rażnego spadku dopływającej radiacji i zaznaczających się już adwekcji chłodnego powietrza, prowadzi do intensywnego przekazywania ciepła z powierzchni morza do atmosfery i wzmożenia konwekcji. Występowanie minimum opadowego w grudniu i styczniu w tym rejonie stanowić może odbicie odwrotnego procesu - występowania w przewadze równowagi stałej w warunkach adwekcji ciepłego powietrza z N, NW i W nad chłodne jeszcze wody oraz silnego ograniczenia parowania. Procesy te stanowiłyby lokalną (regionalną) modyfikację rozkładu sum opadowych warunkowanych przez procesy makrocyrkulacyjne.

Zaznaczanie się drugorzędного minimum opadowego w styczniu i występowanie wyraźnego maksimum opadowego w marcu stanowią odbicie typowych cech klimatu regionu ultraoceanicznej Antarktyki w klimacie Stacji Arctowskiego, występowanie minimum opadowego w sierpniu, być może stanowi osobliwość lokalną tego klimatu.

Sporo do myślenia na ten temat daje porównanie sum częstotliwości wiatrów z kierunków NE, N i NW i średnich miesięcznych sum opadowych (patrz ryc. 1). Zauważyć można dwie wyraźne części wykresu - w okresie od grudnia do stycznia ustala się przesunięcie fazowe między obu wielkościami, które trwa do sierpnia. Przesunięcie to z końcem zimy (08, 09) zanika i od września do grudnia bieg obu wielkości jest zgodny w fazie.

Analiza przebiegów sum opadów miesięcznych w poszczególnych latach wykazuje występowanie dość dużej niestalości opadowej. Maksymalne sumy opadów miesięcznych przekraczają 149 mm (03. 1982), minimalne wynoszą zaledwie 6.3 mm (08. 1988). Roczne sumy opadowe zawierają się w granicach od 630 mm (1989) do 377 mm (1988). Sumy opadów średnich miesięcznych, wobec ich uśrednienia, charakteryzują się już znacznie mniejszym wskaźnikiem niejednorodności opadowej.

W przebiegu rocznym wielkości sum opadowych wykazują słabą dodatnią korelację z temperaturą średnią roczną ($r = +0.5595$, $F = 4.1$) oraz słabą dodatnią korelację ze wskaźnikiem oceanizmu termicznego ($r = +0.4852$) Marsza (1993). Stosunkowo silna dodatnia korelacja ($r = +0.7141$) zaznacza się między wskaźnikiem niejednorodności opadowej (W) a sumami opadów rocznych.

PROBLEM RZECZYWISTYCH ROCZNYCH SUM OPADOWYCH.

Pomiar sum opadowych prowadzonych na Stacji Arctowskiego za pomocą deszczomierza Hellmanna, jak już wspomniano, prowadzi do ich znacznego zaniżenia w

stosunku do rzeczywistości. Na pobliskiej stacji Bellingshausen, na której pomiary prowadzi się za pomocą deszczomierza Tretiakova typu OS-1 (200 cm²), średnie roczne sumy opadowe wynoszą 761 mm (Spravocnik, 1977) dla 5-lecia 1969-1973 i 760 mm dla 10-lecia 1971-1980 (Loganov, 1986). Są więc o około 43% wyższe niż sumy opadowe dla 11-letniej serii obserwacyjnej na Stacji Arctowskiego. Dla tych serii pomiarów opadów brak odpowiednika na Stacji Arctowskiego.

Dziesięcioletnia równoczesna seria pomiarowa opadów (1978 -1987) dla Arctowskiego i Stacji Bellingshausen podaje średnie roczne sumy opadowe odpowiednio 513 i 681 mm (Martianov, Rakusa-Suszczewski, 1990), co wskazuje, że sumy opadowe na Stacji Bellingshausen są o około 28 - 29% większe niż na Arctowskim. Ponieważ deszczomierz Tretiakova w tych samych warunkach pomiarowych rejestruje opady o około 22% większe od deszczomierza Hellmanna, należy sądzić, że sumy opadowe na Stacji Arctowskiego są rzeczywiście nieco mniejsze niż na Stacji Bellingshausen. Wobec niewielkiej odległości między tymi stacjami przyczyn prowadzących do zmniejszenia sum opadowych na Arctowskim można się dopatrywać w oddziaływaniu czynników lokalnych. Główną rolę odgrywa tu przypuszczalnie osłonięcie Stacji Arctowskiego przez wysoko wyniesioną (około 600 m) Kopułę Arctowskiego, za którą przy wiatrach wiejących z kierunków W, NW, N i NE (łącznie około 40 - 41% ogólnej częstości wiatrów: Rakusa-Suszczewski, Miętus, Piasecki, 1992; Styszyńska, 1990) tworzy się cień opadowy.

Zakładając, że rzeczywiście około 22% różnicy w pomiarze średniej rocznej sumy opadowej między Stacją Arctowskiego a Stacją Bellingshausena wynika z różnicy w typie deszczomierza, to można oszacować, że gdyby w 10-leciu 1978-1987 na Stacji Arctowskiego pomiar wykonywany był za pomocą deszczomierza Tretiakova, zmierzona suma opadowa dla tego okresu wynosić winna około 626 mm. Oznacza to, że średnie roczne sumy opadowe na Arctowskim są o około 56 mm mniejsze niż na Stacji Bellingshausen, co stanowi około 9% średniej rocznej sumy opadowej. Wielkość ta może być traktowana jako miara wpływu oddziaływania czynnika lokalnego na Stacji Arctowskiego.

Deszczomierz Tretiakova, tak jak każdy inny typ deszczomierza, obarczony jest również pewnymi błędami pomiarowymi. Błędy te, zależne są od rodzaju opadu, wpływu wiatru, zmaczania ścianek naczynia pomiarowego, parowania i nawiewania do deszczomierza śniegu w momencie występowania zamieci. Szczegółową metodykę szacowania błędów pomiaru sum opadowych omawia "Mirovoj..." (1974). Według tej

metodyki poprawiono pomiary sum opadowych na Stacji Bellingshausen dla 5-lecia 1969-1973. Poprawione wielkości średnich rocznych sum opadowych dla tego okresu wynoszą 854 mm (Sprawocnik, tab. 50, 1977). Oznacza to, że poprawka ta stanowi około +12% średniej rocznej sumy opadowej.

Można założyć, że na Stacji Arctowskiego, na której panują zbliżone do Stacji Bellingshausen warunki pogodowe, wielkość tej poprawki będzie również podobna. Przyjęcie tego założenia pozwala oszacować rzeczywiste średnie roczne sumy opadowe występujące na Stacji Arctowskiego na około 700 mm w okresie 1978-1987 i na około 724 mm w analizowanym 11-leciu 1978-1983 i 1985-1989.

OPADY NA WYSPIE KRÓLA JERZEGO A BILANS ZŁODOWACENIA.

Warunki termiczno-opadowe, jakie występują w rejonie Zatoki Admiralicji należy uznać za korzystne dla rozwoju złodowacenia. Sumy opadowe są stosunkowo duże, temperatury okresu ciepłego stosunkowo niskie, okres występowania średnich temperatur miesięcznych wyższych od 0°C - krótki. Częste przejścia temperatury przez 0°C oraz wypadanie nawet zimą nieznacznych ilości opadów ciekłych sprzyjają szybkiemu przebiegowi procesów wilgotnej metamorfizacji śniegu. Duża przez cały rok wilgotność powietrza ogranicza parowanie i sublimację z powierzchni śniegu i lodu.

Badania Bryazgina i Govoruchy (1986), Zamorueva (1972), który wykorzystał również obserwacje Noble'go (1965), wskazują, że na Wyspie Króla Jerzego występuje intensywny wzrost sum opadowych wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza, wynoszący około 150-170 mm na 100 m. Przyjmując rzeczywiste średnie roczne sumy opadowe na poziomie morza na Stacji Arctowskiego (około 700 mm) i Stacji Bellingshausen (62 mm) jako wyjściowe, można oszacować, że na wierzchołku Kopuły Arctowskiego, na wysokościach około 600 m n.p.m. sumy opadowe winny się wynosić od około 1600 mm do 1800 mm rocznie. Szacunek ten jest wyjątkowo bliski pomiarowi akumulacji, jaki w roku 1968 na Kopule Arctowskiego (1548 mm na wysokości 608 m n.p.m.) przeprowadził Zamoruev (1972). Są to bardzo duże wielkości, które wskazują na bardzo szybką wymianę masy w systemie złodowacenia wyspy. Na fakt ten zwracają uwagę Bryazgin i Govorucha (1986).

Występowanie bardzo dużej prędkości wymiany masy w systemie złodowacenia implikuje dużą czułość i dużą prędkość reakcji złodowacenia na zmiany warunków zewnętrznych.

Strefa ablacji według badań Piaseckiego (1988) sięga w rejonie Zatoki Admiralicji do wysokości około 140 m n.p.m. Jest to taka sama wysokość, na której wyznacza się górną granicę strefy ablacji w zachodniej części wyspy, w pobliżu Stacji Bellingshausen (Zamoruev, 1972). Podobnie wysokość granicy strefy ablacji w pobliżu Stacji Bellingshausen określają Bryazgin i Govorucha (1986), zwracając uwagę, że latem w roku 1970/71 sięgnęła ona wysokości 170 m n.p.m. W rejonach uprzywilejowanych topoklimatycznie, zwłaszcza na stokach o północnej, dosłonecznej ekspozycji, granica ta sięga wyżej, dochodząc do 200 - 220 m n.p.m.

Wielkość ablacji oszacować można z dobrym przybliżeniem za pomocą empirycznej formuły V.V.Chodakova:

$$A = 0.1 \cdot (t_{s3} + 9.5)^3$$

gdzie: A - ablacja roczna w ekwiwalencie cm słupa wody,

t_{s3} - średnia temperatura trzech letnich miesięcy [°C].

Wobec faktu, że temperatura średnia grudnia, stycznia i lutego na Stacji Arctowskiego wynosi +2.0°C, wielkość ablacji na poziomie morza można oszacować na około 150 cm/rok, na wysokości granicy strefy ablacji (140 m) na około 120 cm. Pierwsza z tych wielkości jest całkowicie zgodna z wynikami pomiarów ablacji na Stacji Bellingshausen (150 cm), druga jest o 50 cm wyższa (na Bellingshausenie 70-75 cm na wysokości 140 m n.p.m., Bryazgin i Govorucha, 1986). Na tej wysokości (140 m n.p.m.) roczne rzeczywiste sumy opadowe mogą być oszacowane na od 910 do 958 mm.

Aby ablacja mogła zlikwidować taką wielkość opadu, średnia temperatura trzech letnich miesięcy winna wynosić na tej wysokości około +0.3 °C, co oznacza, że letni pionowy gradient temperatury powietrza winien być około 2 razy większy od średniego spadku temperatury z wysokością (-1.2 °C/100 m, zamiast -0.65°C na 100 m). Trudno rozstrzygać, nie dysponując danymi obserwacyjnymi dalsze wątpliwości, które się tu nasuwają.

Jedno jest pewne - gdyby przyjąć, że mierzone na Stacji Arctowskiego średnie roczne sumy opadowe wynoszące 530 mm są sumami rzeczywistymi i uwzględniając podany przez Bryazgina i Govoruchę (1986) wskaźnik wzrostu sum opadowych wraz z wysokością, to wysokość linii równowagi winna leżeć na poziomie izotermy średniej temperatury letniej około -0.5° do -0.4°C. Przy przyjęciu średniej wartości pionowego gradientu temperatury równego -0.65°C/100 m byłaby to wysokość od 370 do 380 m

n.p.m. W takich warunkach wątpliwym jest, czy zlodowacenie jakie obserwuje się na Wyspie Króla Jerzego mogłoby istnieć.

Tak więc konfrontacja wielkości sum opadowych mierzonych na Stacji Arctowskiego z wielkościami ablacji wskazuje, że wielkości te są istotnie zaniżone w stosunku do rzeczywistości. Pojawia się tu dodatkowo nowy problem - jaki jest w rzeczywistości pionowy gradient temperatury? Czy można tu operować pojęciem pionowego gradientu temperatury w swobodnej atmosferze, czy też spotykamy się z modyfikacją temperatury w przypowierzchniowej warstwie powietrza nad wyspą powodowaną oddziaływaniem zlodowacenia.

Zaznaczająca się w ciągu ostatnich lat wzmożona recesja lodowców w rejonie Zatoki Admiralicji jest powszechnie wiązana ze wzrostem temperatury powietrza. Należy jednak zwrócić uwagę również na fakt, że zlodowacenie tu występujące posiada głównie charakter kopuły lodowej, o wysoko wyniesionych wierzchołkach (400 -680 m n.p.m.), charakteryzujących się niewielkimi nachyleniami powierzchni i względnie stromymi stokami o wyraźnie wypukłym profilu poprzecznym. W takich warunkach bilans brzeżnych partii lodowców kończących się na lądzie w mniejszym stopniu uzależniony jest od wzrostu temperatury, w znacznie większym stopniu zaś od zmian akumulacji na wierzchołkach kopuł. Wzrost temperatury powietrza, prowadzący do powiększania się powierzchni strefy ablacji, poprzez przesuwanie granicy strefy ablacji w górę, w warunkach występowania wypukłego profilu stoków w dolnej partii obszaru zlodowaczonego mało efektywnie powiększa powierzchnię strefy ablacji. Tym samym stosunek między powierzchnią strefy akumulacji i strefy ablacji nie zmienia się proporcjonalnie do wzrostu temperatury.

Zmusza to do ostrożnego wyrażania sądów na temat przyczyn zaznaczającego się wzmożenia natężenia procesów deglacjacji w rejonie Zatoki Admiralicji.

Obserwowany wzrost temperatury powietrza przypuszczalnie nie jest jedyną przyczyną gwałtownego procesu deglacjacji. Stwierdzona dodatnia korelacja, choć słaba, między średnimi temperaturami rocznymi a rocznymi sumami opadowymi zdaje się sugerować, że obecnie następuje jednocześnie zmniejszenie się dostawy lodu do brzeżnych partii obszaru zlodowaczonego, stanowiące odbicie jakiegoś epizodu obniżenia opadów mającego miejsce przed kilkudziesięcioma laty (przypuszczalnie spowodowanego występującym ochłodzeniem). Zlodowacenie stanowi tu układ inercyjny przesuwający w fazie skutki obniżonej akumulacji na powierzchni wierzchołków kopuł lodowych.

Literatura cytowana:

- Bryazgin N.N., Govorucha L.S., 1986. Osobiennosti klimata i sovremennogo oledeneniya o-va King Dzordz (Waterloo). Meteorologiceskie issledovaniya v Antarktike. z. II. AANII. Leningrad, s. 31-36.
- Dolganov L.V., 1986. Atmosfernye usloviya Yuznoj polarnoj oblasti. Gidrometeoizdat. Leningrad, ss. 174.
- Marsz A., 1993. Wskaźnik oceanizmu termicznego jako miara klimatycznego współoddziaływania w systemie ocean - atmosfera - kontynenty. [w:] Działalność naukowa profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja. Symp. w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Toruń, s. 77-80.
- Marsz A., Rakusa-Suszczewski S., 1987. Charakterystyka ekologiczna rejonu Zatoki Admiralicji (King George Island, South Shetland Islands). I. Klimat i obszary wolne od lodu. Kosmos, 36 (1), s.103-127.
- Mirovoj vodnyj balans i vodnyje riesursy Ziemli. 1974. Praca zb. Gidrometeoizdat. Leningrad, ss. 637, s.119-125.
- Noble H.M., 1965. Glaciological observations at Admiralty Bay, King George Island, in 1957-1958. British Antarctic Survey Bulletin No 5, Cambridge, s.1-11.
- Piasecki J., 1988. Wybrane problemy przebiegu elementów meteorologicznych w rejonie lodowca Sphinx podczas lata antarktycznego 1978/79 r. Acta Univ. Vratisl. No 738, Wrocław, s.173-192.
- Rakusa-Suszczewski S., Miętus M., Piasecki J., 1992. Pogoda i klimat. [w:] Zatoka Admiralicji. Ekosystem strefy przybrzeżnej morskiej Antarktyki. Praca zbiorowa pod red. S.Ra kusa -Suszczewskiego. Oficyna Wydawnicza IE PAN, Dziekanów Leśny, s. 41-50.
- Styszyńska A., 1990. The effect of wind direction and orography on air temperature at the Arctowski Station. Polish Polar Res. 11, 1-2, s. 69-93.
- Spravocnik po klimatu Antarktidy. 1977. T.II. Gidrometeoizdat. Leningrad, ss. 493.
- Zamoruev V.V., 1972. Rezultaty glaciologiceskikh nabludenij na Stancii Bellingshausen v 1968 g. Trudy SAE, t.55, s.135-144.