

ZWIĄZKI MIĘDZY ZACHMURZENIEM A USŁONECZNINIEM NA STACJI ARCTOWSKIEGO (SZETLANDY POŁUDNIOWE)

Anna Styszyńska

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej
Wydział Nawigacyjny WSM w Gdyni

WPROWADZENIE

Usłonecznienie, czyli czas, w którym bezpośrednio promieniowanie słoneczne dochodzi do powierzchni Ziemi, jest elementem meteorologicznym rejestrowanym na wielu stacjach za pomocą prostego, ale dostatecznie niezawodnego i pewnego przyrządu jakim jest heliograf Campbell-Stokesa. Dane o wielkości insolacji charakteryzują nie tylko czas operacji Słońca ale pozwalają również wyciągać wnioski co do wielkości promieniowania słonecznego docierającego w danym rejonie, zwłaszcza jeśli nie prowadzi się tam obserwacji aktynometrycznych. Pozwalają także sądzić o czasowej strukturze zachmurzenia w okresie dnia (czasami bardziej dokładnie i obiektywnie niż na podstawie standardowych obserwacji wizualnych).

Czas insolacji w tym lub innym punkcie zależy od długości dnia określonej przez szerokość geograficzną i wielkości zachmurzenia oraz stopnia zakrycia horyzontu. Wpływ zacienienia przyrządu, podobnie jak szerokości geograficznej (długości dnia) da się dokładnie oszacować. Rejestracja usłonecznienia odbywa się w sposób ciągły, od wschodu do zachodu Słońca, natomiast zachmurzenie ogólne jest elementem meteorologicznym określanym na podstawie obserwacji wizualnych, w momencie ich wykonywania, to jest zazwyczaj 8 razy na dobę (na stacjach prowadzących obserwacje w reżimie synoptycznym).

Bardzo często oba te elementy meteorologiczne traktuje się jako komplementarne. Według Angstroma suma usłonecznienia względnego i wielkości zachmurzenia wyrażonej w procentach powinna równać się 100. Choć między oboma elementami występują związki (o różnorodnym charakterze) to w rzeczywistości tak jednak nie jest. Powoduje to występowanie określonych problemów interpretacyjnych, zwłaszcza w opracowaniach o charakterze klimatologicznym, bazujących na danych uśrednionych. O za-

leżności przyczynowo-skutkowej między usłonecznieniem a zachmurzeniem można mówić jedynie w dzień.

Heliograf Campbell-Stokesa może rejestrować usłonecznienie wyłącznie w okresie gdy Słońce znajduje się ponad widnokregiem, a jego wysokość jest większa od około 3° , co wiąże się z progową czułością rejestracji, wynoszącą około $0.3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$. Tak więc przy niskich wysokościach Słońca usłonecznienie nie jest notowane, nawet gdy występuje.

Na pracę heliografu w dużym stopniu wpływa także powtarzalność takich zjawisk jak: opady, mgły, niskie zamiecie, a zwłaszcza szron czy gołoledź osadzające się na kuli heliografu. Występowanie tych zjawisk powoduje na ogół pewne niedookreślenie usłonecznienia, którego wielkość zależy głównie od kwalifikacji obserwatora. Według Brjazgina (1968) w Arktyce, z tej właśnie przyczyny, w chłodnej porze roku zmierzone usłonecznienie może być mniejsze o 40-50 godzin na miesiąc. W Antarktyce, ze względu na powtarzalność występowania szronu i gołoledzi, straty rzędu 10-20 godzin insolacji na miesiąc należy według Petrova (1976) uznać za realne.

Teoretycznie rzecz biorąc, heliograf rejestruje usłonecznienie, gdy między przyrządem a Słońcem nie występują chmury. Jednocześnie czułość progowa rejestracji powoduje, że w momencie, gdy Słońce jest przysłonięte warstwą chmur o odpowiednio małej gęstości optycznej, heliograf będzie rejestrować usłonecznienie. Ma to zazwyczaj miejsce, gdy między heliografem a Słońcem występują chmury wysokie, lub niekiedy cienka warstwa chmur średnich, a natężenie promieniowania słonecznego osiągnie i przekroczy podaną wartość progową.

Fakt, że w danym momencie heliograf notuje usłonecznienie nie świadczy wiele o zachmurzeniu. W momencie notowania usłonecznienia pokrycie nieba może być duże, a jedynie w azymucie i wysokości Słońca może brakować chmur. Podobnie, w trakcie występowania nawet ciągłej pokrywy chmur wysokich (zachmurzenie całkowite) heliograf może notować usłonecznienie.

Tak więc zależność przyczynowo-skutkowa między zachmurzeniem a usłonecznieniem w porze dziennej może podlegać znacznym zakłóceniom i posiada bardziej probabilistyczny, niż rzeczywisty charakter.

Zachmurzenie ogólne, jeśli określane jest przez doświadczonego obserwatora, jest wielkością dość pewną. Jest ono jednak w niektórych typach pogody elementem szybkozmiennym. Jego pomiar, jak już wspomniano nie jest ciągły, lecz ogranicza się do momentów wykonywania obserwacji.

Dane o zachmurzeniu zbierane są zarówno w czasie dnia, jak i w nocy, kiedy obserwacja Słońca nie jest możliwa. Informacja o zachmurzeniu stanowi najczęściej wartość średnią z obserwacji wykonywanych w danym okresie (doba, dekada, miesiąc, rok). W związku z tym mogą istnieć takie sytuacje, gdy wielkość średnia (np. dobową) może być taka sama, w przypadku występowania diametralnych różnic między zachmurzeniem w ciągu doby (np. $N = 4$, gdy zachmurzenie w ciągu obserwacji dziennych równe 8, a nocnych równe 0, lub odwrotnie). Dodatkowo, dla poszczególnych miesięcy, sprawę komplikuje zróżnicowanie długości dnia i nocy, co będzie powodowało, że dla niektórych miesięcy większe znaczenie dla średniej wielkości zachmurzenia będą posiadały obserwacje nocne, a dla niektórych - dzienne.

Dobowe informacje o usłonecznieniu nie stanowią średniej, lecz sumę godzin obserwacji Słońca, wielkość średnią stanowią dopiero średnie miesięczne. Tak więc już na poziomie danych wyjściowych (wielkości dobowe) występuje zasadnicza różnica jakościowa między danymi o usłonecznieniu i zachmurzeniu, skutkująca występowaniem między zachmurzeniem i usłonecznieniem związków bardziej skomplikowanych niż może to się wydawać.

Porównanie wielkości średniego usłonecznienia mierzonego na Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego z obliczonym usłonecznieniem bezwzględny i możliwym wskazuje na dominujący wpływ zachmurzenia na czas insolacji. Usłonecznienie rzeczywiste stanowi niecałe 25 % usłonecznienia możliwego (Styszyńska, 1992).

Celem artykułu jest charakterystyka zmienności usłonecznienia w ciągu roku i wieloletnia i na jej tle próba określenia i wyjaśnienia związków zachodzących pomiędzy usłonecznieniem a zachmurzeniem na Stacji Arctowskiego, z uwzględnieniem warunków naturalnych położenia stacji.

Ponieważ dla wielu obszarów o wiele łatwiej znaleźć w publikowanej literaturze dane obserwacyjne w ujęciu średnich miesięcznych niż dobowych to drugim pytaniem, na które starano się uzyskać odpowiedź, jest stwierdzenie czy analiza oparta na wielkościach średnich miesięcznych wystarczająco dokładnie opisuje i wyjaśnia badaną zależność.

DANE I METODA ICH OPRACOWANIA

Materiałami, które posłużyły do wykonania opracowania były dane zawarte w Rocznikach Meteorologicznych Stacji Arctowskiego opracowanych i wydanych przez

Pracownię Badań Polarnych i Morskich IMGW w Gdyni. Stacja meteorologiczna funkcjonowała w latach 1977-1990. Pełne serie pomiarów usłonecznienia (sumy dobowe) obejmują rok 1979 i lata 1981-1983 oraz 1985-1989. Dla roku 1980, dla którego brak danych w roczniku, miesięczne sumy usłonecznienia uzyskano dzięki uprzejmości D. Wielbińskiej z IMGW. Uzyskano w ten sposób 10-letnią, nieciągłą serię miesięcznych sum usłonecznienia. I choć ze względu na dużą zmienność insolacji w czasie wyciąganie miarodajnych ocen wymaga dłuższych serii obserwacji, według Petrova (1976) minimum 20-letnich, to ze względu na zaprzestanie obserwacji na stacji, uznano za celowe wykonanie opracowania na podstawie do tej pory zgromadzonego materiału. Analizę zależności pomiędzy usłonecznieniem a zachmurzeniem wykonano na podstawie najdłuższej serii danych jaką posiadano, czyli na podstawie sum miesięcznych.

Materiały dotyczące zachmurzenia obejmują ten sam okres, to jest lata 1979-1983 i 1985-1989. Wielkościami, które brano pod uwagę były, tak jak i w przypadku insolacji, średnie miesięczne wielkości zachmurzenia ogólnego nieba (N). W przeważającej większości powstały one z uśrednienia 8 obserwacji terminowych, a jedynie w latach 1982 i 1983, z powodu braku danych, z 3 obserwacji (z 00, 12 i 18 GMT). Ponieważ na czas usłonecznienia wpływa jedynie zachmurzenie występujące w ciągu dnia, to w celu wyjaśnienia tej zależności dokonano osobno oszacowania wielkości zachmurzenia dziennego (Nd). Na podstawie znajomości codziennych momentów wschodu i zachodu Słońca w każdym miesiącu dokonano wyboru terminów obserwacji zachmurzenia, które uwzględniano przy obliczaniu Nd. Obserwację terminową brano pod uwagę o ile moment wschodu (lub zachodu) Słońca od momentu obserwacji zachmurzenia dzielił okres nie dłuższy niż połowa czasu pomiędzy obserwacjami, czyli 1.5 godziny. W rezultacie przeprowadzonej analizy okazało się, że do obliczenia Nd w grudniu należy uwzględnić wszystkie 8 terminów, w styczniu i listopadzie - 7 (bez 03 GMT), w lutym i marcu - 6, w kwietniu, wrześniu i październiku - 5, w maju i sierpniu - 4 oraz w czerwcu i lipcu jedynie 3 (12, 15 i 18 GMT) wyniki przeprowadzonych obliczeń Nd zamieszczono w tabeli 2.

Przy ocenie zależności zachodzących pomiędzy insolacją a zachmurzeniem wykorzystywano usłonecznienie względne obliczane ze stosunku usłonecznienia rzeczywistego (Urz) do możliwego. Usłonecznienie możliwe określone astronomicznym czasem wschodu i zachodu Słońca z uwzględnieniem zakrycia horyzontu i czułości przyrządu (wysokość Słońca powyżej 3°) przyjęto zgodnie z wcześniejszymi obliczeniami

autorki (1992). Obliczone wielkości usłonecznienia względnego (U_{wz}) oraz U_{rz} w poszczególnych miesiącach i latach zawiera tabela 1.

Wyjaśnienia zależności zachodzących pomiędzy badanymi elementami poszukiwano drogą określenia regresji usłonecznienia względnego względem zachmurzenia z zastosowaniem programu komputerowego "GRAPHER". W celu znalezienia najlepszego dopasowania wykorzystano równania liniowe, eksponencjalne i wielomianowe.

ROZKŁAD ŚREDNICH MIESIĘCZNYCH SUM USŁONECZNIEŃ

Charakterystyczną cechą usłonecznienia na Stacji Arctowskiego jest jego duża zmienność z miesiąca na miesiąc i z roku na rok. Położenie stacji w wysokich szerokościach geograficznych ($\varphi = 62^{\circ}10'S$), w obszarze aktywnej cyrkulacji atmosferycznej określającej reżim zachmurzenia, znajduje wyraźne odbicie w wielkości miesięcznych sum usłonecznienia (tab. 1). Średnia wieloletnia roczna suma godzin ze Słońcem (U_{rz}) wynosi 895.6 h i mieści się w przedziale od 1090.9 h (1981) do 729.2 h (1988), a średnie wieloletnie sumy miesięczne wahają się od 9.9 h w czerwcu do 123.9 h w grudniu. Największą zmiennością miesięcznych sum U_{rz} w wieloleciu cechuje się czerwiec (maksymalna - 26.5 h, w 1981, jest ponad dziesięciokrotnie większa od minimalnej -2.5 h, w 1986), a najmniejszą wrzesień (tab. 1).

Szczególnie niekorzystne warunki dopływu promieniowania bezpośredniego występują w chłodnej porze roku. Minimum zaznacza się bardzo wyraźnie, U_{rz} jest w czerwcu ponad dwukrotnie mniejsze niż w sąsiednich miesiącach. Wynika to z jednej strony z krótkiego dnia (22.06 - 4^h31^m) - średnie dobowe usłonecznienie bezwzględne wynosi wtedy 4.9 h, a z drugiej, z małych wysokości Słońca (min. - 4.4°). Choć na Stacji Arctowskiego wielkość zakrycia horyzontu nie jest duża (maksymalnie 10.9°) i z tego powodu straty insolacji w ciągu roku nie przekraczają 14% to jednak w czerwcu, gdy są największe, wynoszą 40% w stosunku do teoretycznie możliwego, czyli usłonecznienia bezwzględnego (Styszyńska, 1992). Średnie wieloletnie usłonecznienie względne (U_{wz}) wynosi w tym miesiącu 11.2% i waha się w poszczególnych latach od 30.2 (1981) do 2.9% (1986), patrz tabela 1. Skoro w usłonecznieniu możliwym uwzględniono już wpływ zakrycia horyzontu i czułość przyrządu to tak niskie wielkości U_{wz} wskazują na dominujący, również w zimie, wpływ zachmurzenia. Może o tym świadczyć liczba dni bezsłonecznych, które na Stacji Arctowskiego w miesiącach zimowych (05, 06, 07) stanowią ponad połowę czasu (Styszyńska, 1992) - w czerwcu

rok		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	rok
1979	Urz	161.0	85.5	105.7	42.2	33.4	3.0	23.7	60.8	67.6	105.7	98.1	112.2	898.9
	Uwz	31.8	22.3	33.2	17.9	23.2	3.4	20.4	29.6	23.6	27.3	21.3	21.3	24.6
1980	Urz	99.0	53.1	81.9	39.5	17.1	10.5	30.2	45.3	86.0	176.9	115.8	139.9	895.2
	Uwz	19.6	13.9	25.7	16.8	11.9	12.0	26.0	22.1	30.0	45.6	25.1	26.5	24.5
1981	Urz	137.1	111.7	102.7	86.2	29.0	26.5	33.6	57.8	45.5	116.9	142.8	171.1	1090.9
	Uwz	27.2	29.1	32.2	36.7	20.1	30.2	29.0	28.2	26.3	30.1	31.0	32.4	29.8
1982	Urz	198.7	98.7	85.4	58.5	20.7	11.3	16.8	51.8	121.1	119.7	98.9	90.2	970.8
	Uwz	39.4	25.7	26.8	24.9	14.4	12.9	14.5	25.3	42.2	30.9	21.4	17.1	26.5
1983	Urz	102.1	117.7	75.1	90.7	20.0	5.8	13.2	64.3	77.1	102.7	109.7	190.0	968.4
	Uwz	20.2	30.7	23.6	38.6	13.9	6.3	11.4	31.4	26.9	26.5	23.8	36.0	26.5
1985	Urz	104.5	54.9	44.7	57.7	19.4	14.2	7.4	45.3	77.0	127.7	92.2	110.1	744.2
	Uwz	20.7	14.3	14.0	23.7	13.4	16.2	6.4	22.1	26.9	32.9	20.0	20.9	20.3
1986	Urz	87.7	70.4	65.6	34.1	11.4	2.5	19.7	32.2	104.3	153.9	100.3	154.2	836.3
	Uwz	17.4	18.4	20.6	14.5	7.9	2.9	17.0	15.7	36.4	39.7	21.8	29.2	22.9
1987	Urz	75.4	113.0	123.5	24.9	22.5	7.3	26.9	80.2	80.2	115.9	158.5	105.8	934.1
	Uwz	15.7	29.5	38.8	10.6	15.6	8.3	23.2	39.1	28.0	29.9	34.4	20.1	25.5
1988	Urz	66.1	139.8	49.6	45.8	37.3	7.6	16.8	71.0	75.8	69.2	66.9	66.9	729.2
	Uwz	13.1	36.5	15.6	19.5	25.9	8.7	14.0	34.6	26.4	17.8	14.5	12.7	19.9
1989	Urz	154.5	103.4	105.4	24.4	23.9	10.1	34.8	24.7	69.9	108.3	129.9	98.9	888.2
	Uwz	30.6	27.0	33.1	10.4	16.6	11.5	30.0	12.1	24.4	27.9	28.2	18.8	24.3
Urz max		198.7	139.8	123.5	86.2	37.3	26.5	34.8	80.2	104.3	176.9	158.5	190.0	1090.9
Urz min		66.1	53.1	44.7	24.4	11.4	2.5	7.4	24.7	67.6	69.2	66.9	66.9	729.2
Urz śr.		118.6	94.8	84.0	50.4	23.5	9.9	22.3	53.3	83.5	119.7	111.3	123.9	895.6
σ_n		40.35	26.96	24.48	21.96	7.38	6.54	8.61	16.21	15.84	27.74	25.25	36.66	102.36
Uwzg max		39.4	36.5	38.8	38.6	25.9	30.2	30.0	39.1	42.2	45.6	34.4	36.0	29.8
Uwzg min		13.1	13.9	14.0	10.4	7.9	2.9	6.4	12.1	23.6	17.8	14.5	12.7	19.9
Uwzg śr.		23.6	24.7	26.3	21.3	16.3	11.2	19.2	26.0	29.1	30.9	24.1	23.5	24.5
σ_n		7.911	7.028	7.679	9.312	5.113	7.469	7.456	7.902	5.524	7.154	5.474	6.946	2.802

Tabela 1.
 Usłonecznienie rzeczywiste (Urz) w [h] i usłonecznienie względne (Uwz) w [%] w poszczególnych miesiącach na Stacji Arctowskiego w latach 1979-83 i 1985-89).

średnio - 23, maksymalnie - 27 dni, podczas gdy dla Polski odpowiedni odsetek nie przekracza 30-35 (Kuczmarski i Paszyński, 1981).

Maksimum usłonecznienia przypada na okres letni, a sumy grudnia i stycznia różnią się niewiele (tab. 1). Dni bezsłoneczne pojawiają się rzadko, przeciętna liczba takich dni wynosi od 5.3 w grudniu do 6.4 w styczniu (Styszyńska, 1992).

Uwagę zwraca drugorzędne maksimum Urz w październiku (119.7 h). Średnia wieloletnia wielkość Urz jest w tym miesiącu większa niż w styczniu. W skali badanego dziesięciolecia jest to miesiąc, w którym nawet minimalne Urz (69.2 h) jest najwyższe ze wszystkich miesięcy (tab. 1), przy zbliżonej wielkości średniej liczby dni bez Słońca (5.9). W świetle średnich wieloletnich wartości usłonecznienia względniego przewaga sprzyjających warunków insolacyjnych w październiku jest jeszcze wyraźniejsza ($U_{wz} = 30.9\%$, podczas gdy w grudniu i styczniu tylko - 23.5 %). Biorąc pod uwagę, że maksimum usłonecznienia rzeczywistego na nieodległej stacji Orkadas ($\varphi = 60^{\circ}45'S$) przypada na październik, to przyczyn wystąpienia wtórnego maksimum Urz na Arctowskim należy szukać w osobliwościach cyrkulacji atmosfery. Według Grigor'jana i Petrova (1976) Szetlandy Południowe znajdują się w tym miesiącu pod wpływem klina wyżu subtropikalnego. W takiej sytuacji o wiele istotniejszy staje się wpływ małego zachmurzenia niż wzrost długości dnia latem (niższe średnie Urz w listopadzie i styczniu i niższe U_{wz} w okresie listopad - luty).

ZACHMURZENIE

Stały, niewielki odsetek usłonecznienia rzeczywistego w stosunku do możliwego wskazuje na dominujący wpływ zachmurzenia na czas insolacji.

W ujęciu średnich miesięcznych Stacja Arctowskiego cechuje się stale dużym zachmurzeniem. Średnie wieloletnie zachmurzenie ogólne (N) wynosi 6.3/8 i w przekroju miesięcznym zmienia się stosunkowo słabo, od 5.7(08) do 6.6 (11, 12, 01). Najwyższe N - równe 7.3 - wystąpiło w grudniu 1989 roku, a najniższe - 4.5 - w sierpniu 1987. Stosunkowo najmniejsze zachmurzenie notowane jest w miesiącach chłodnych z minimum w 07 i 08 (5.7-5.8), choć w badanym 10-leciu najniższe N występowało w 6 miesiącach (08, 07, 06, 04, 09 i 10). W świetle badanego 10-lecia najwyższe miesięczne wielkości N (7.0-7.3) mogą wystąpić w 8 miesiącach, ale najczęściej w 12, 01 i 02 (tab. 2). Jak podają Kowalewski i Wielbińska (1984), cechą charakterystyczną zachmurzenia notowanego na Stacji Arctowskiego jest występowanie

Tabela 2. Średnie miesięczne zachmurzenie ogólne (N) i zachmurzenie dzienne (Nd) na Stacji Arctowskiego w latach 1979-1983 i 1985-1989.

rok		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	rok
1979	N	6.3	6.8	6.3	6.5	5.9	6.9	6.0	5.7	6.5	6.7	6.8	6.7	6.4
	Nd	6.3	6.8	6.4	6.7	6.1	7.1	6.3	6.6	6.6	6.7	6.8	6.7	6.5
	k	1.00	1.00	1.02	1.03	1.03	1.03	1.05	1.16	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02
1980	N	6.7	7.2	6.2	6.6	6.6	5.9	4.8	5.8	6.1	5.8	6.6	6.4	6.2
	Nd	6.7	7.1	6.2	6.6	6.6	6.0	5.1	6.3	6.3	5.6	6.5	6.4	6.3
	k	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.09	1.03	0.97	0.98	1.00	1.02
1981	N	6.4	6.3	6.0	6.0	5.9	4.8	5.3	5.7	6.1	6.6	6.5	6.5	6.0
	Nd	6.4	6.3	6.1	6.1	5.9	4.9	5.5	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.1
	k	1.00	1.00	1.02	1.02	1.00	1.02	1.04	1.05	1.07	0.98	1.00	1.00	1.02
1982	N	6.1	6.3	6.5*	6.4*	6.1*	5.8*	6.6*	5.9*	5.0*	6.3*	6.6*	6.9*	6.2*
	Nd	6.1	6.4	6.6*	6.8*	6.7*	6.1*	6.7*	6.0*	5.5*	6.3*	6.6*	6.9*	6.4*
	k	1.00	1.02	1.02	1.06	1.10	1.05	1.02	1.02	1.10	1.00	1.00	1.00	1.03
1983	N	6.5*	6.3*	6.6*	5.2*	6.3*	5.7*	5.9*	5.2*	6.0*	5.8*	6.2*	6.0*	6.0*
	Nd	6.5*	6.3*	6.6*	5.7*	6.3*	6.2*	6.2*	5.3*	5.8*	6.2*	6.2*	6.1*	6.2*
	k	1.00	1.00	1.00	1.10	1.00	1.09	1.05	1.02	0.97	1.07	1.00	1.02	1.03
1985	N	6.8	7.0	6.8	6.4	6.5	6.0	6.1	6.6	6.5	6.1	6.7	6.4	6.5
	Nd	6.7	7.1	6.9	6.6	6.8	6.2	6.6	6.6	6.7	6.0	6.7	6.4	6.6
	k	0.99	1.01	1.01	1.06	1.05	1.03	1.08	1.00	1.03	0.98	1.00	1.00	1.02
1986	N	7.0	6.8	6.3	6.7	6.6	6.6	5.7	5.8	5.9	5.7	6.9	6.3	6.4
	Nd	7.0	6.9	6.5	6.9	6.9	7.0	5.7	6.3	5.9	5.7	6.9	6.3	6.5
	k	1.00	1.01	1.03	1.03	1.05	1.06	1.00	1.09	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02
1987	N	6.7	6.0	5.7	6.7	5.8	5.6	5.1	4.5	5.9	5.6	5.7	6.4	5.8
	Nd	6.7	5.9	5.8	6.7	6.2	5.8	5.0	4.7	5.8	5.7	5.7	6.4	5.9
	k	1.00	0.98	1.02	1.00	1.07	1.04	0.98	1.04	0.98	1.02	1.00	1.00	1.02
1988	N	7.0	6.0	6.9	6.2	5.7	6.5	5.9	5.4	6.3	7.0	7.1	6.9	6.4
	Nd	7.0	6.1	7.0	6.4	5.8	6.7	6.2	5.7	6.3	7.0	7.0	6.9	6.5
	k	1.00	1.02	1.01	1.03	1.02	1.03	1.05	1.06	1.00	1.00	0.99	1.00	1.02
1989	N	6.0	6.7	6.5	7.2	6.2	6.5	5.6	6.9	6.9	6.8	6.6	7.3	6.6
	Nd	6.0	6.9	6.5	7.2	6.5	6.1	5.7	7.3	6.9	6.8	6.6	7.3	6.7
	k	1.00	1.03	1.00	1.00	1.05	0.94	1.02	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02
N max		7.0	7.2	6.9	7.2	6.6	6.9	6.6	6.9	6.9	7.0	7.1	7.3	6.6
N min		6.0	6.0	5.7	5.2	5.7	4.8	4.8	4.5	5.0	5.5	5.7	6.0	5.8
N śred		6.6	6.5	6.4	6.4	6.2	6.0	5.7	5.8	6.1	6.2	6.6	6.6	6.3
σ_n		.332	.395	.342	.500	.316	.592	.498	.638	.479	.484	.369	.354	.242
Nd max		7.0	7.1	7.0	7.2	6.9	7.1	6.7	7.3	6.9	7.0	7.0	7.3	6.7
Nd min		6.0	5.9	5.8	5.7	5.8	4.9	5.0	4.7	5.5	5.6	5.7	6.1	5.9
Nd śred		6.5	6.6	6.5	6.6	6.4	6.2	5.9	6.1	6.2	6.3	6.6	6.6	6.4
σ_n		.326	.409	.341	.400	.360	.601	.562	.693	.436	.472	.356	.339	.233

* 3 obserwacje na dobę

k = Nd/N

nie pojawiającego się często (zwłaszcza latem), lecz nieokresowo, dość dużego zachmurzenia orograficznego. Jest to zachmurzenie tworzone przez chmury falowe, głównie na kierunkach dosłonecznych w stosunku do Stacji.

Rozkład średnich miesięcznych wielkości zachmurzenia w ciągu dnia (N_d) powtarza rozkład zachmurzenia ogólnego (tab. 2). Średnia wieloletnia N_d jest o 0.1 wyższa niż N . Podobnie o 0.1 wyższe są wielkości maksymalna i minimalna.

Stosunek N_d do N waha się od 1.16 (08.1979) do 0.94 (06.1989). W badanym 10-leciu, przy 120 miesiącach, jedynie w 12 (10% badanej populacji) średnie zachmurzenie dzienne było niższe niż ogólne. Najczęściej miało to miejsce w październiku (1980, 1981 i w 1985) - przy maksymalnej różnicy między N_d i N równej 0.2/8, dwukrotnie w 02, 09 i 11 - przy maksymalnej $N_d - N = 0.2/8$ i jednokrotnie w 01, 06 i 07.

Zachmurzenie dzienne wyższe niż ogólne (61% przypadków) przeważa w chłodnej porze roku, od marca do sierpnia. Przewaga N_d na N nie jest duża i zamyka się w przedziale od 0.1 do 0.9/8. Zachmurzenie dzienne takie samo jak ogólne może wystąpić we wszystkich, poza czerwcem, miesiącach choć najczęściej, co zrozumiałe, w grudniu i styczniu.

Tak więc, w świetle przeprowadzonej analizy wielkości średnich miesięcznych, pogląd o stałe wysokim zachmurzeniu ogólnym i niewielkiej zmienności zachmurzenia w ciągu doby na Stacji Arctowskiego można uznać za uzasadniony.

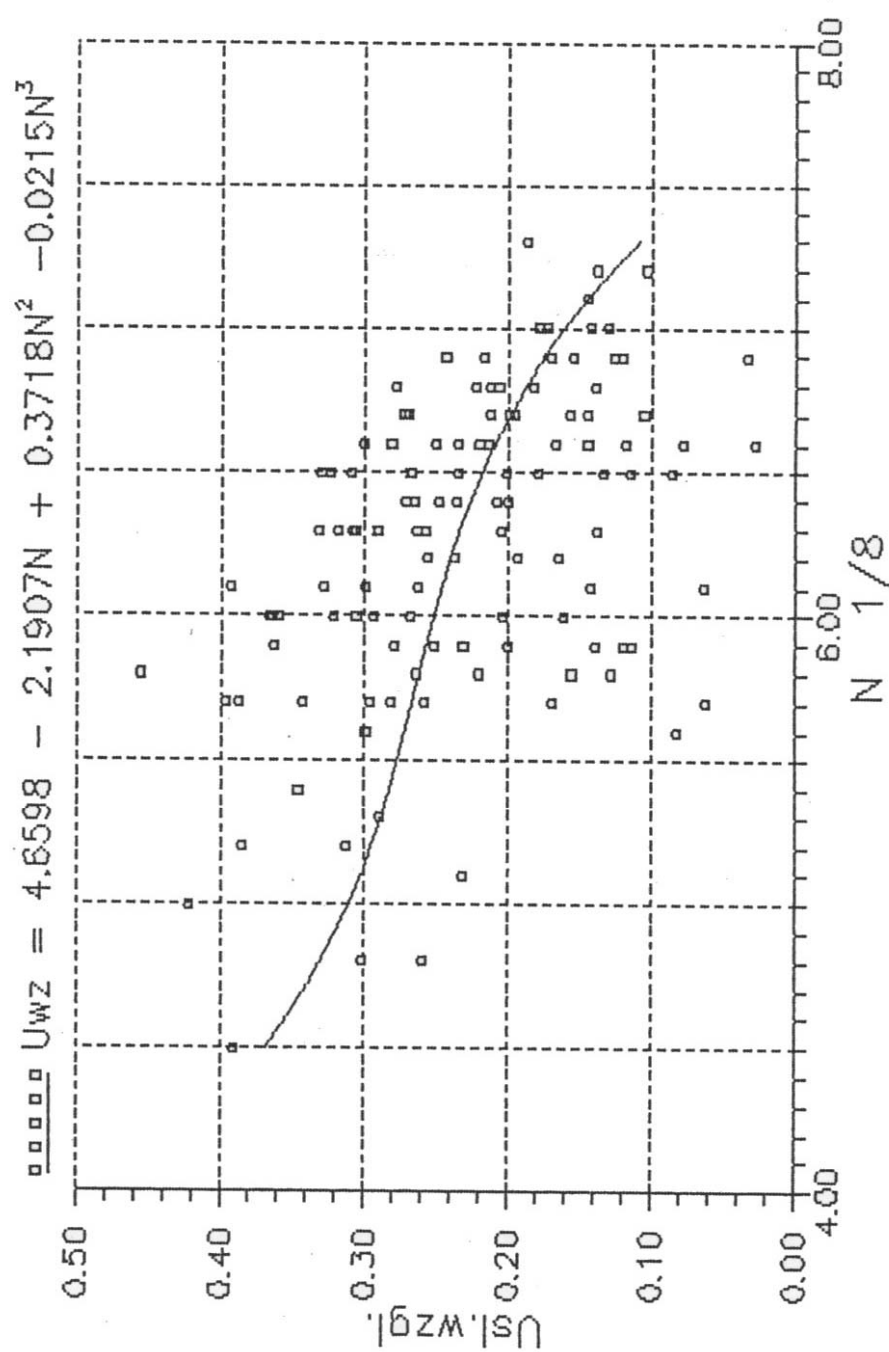
USŁONECZNIE A ZACHMURZENIE

Przyjmując istnienie zależności pomiędzy zachmurzeniem a usłoneczeniem, na co wskazuje analiza tabel 1 i 2, charakteru i kształtu tego związku poszukiwano poprzez określenie regresji usłoneczeniowej względem zachmurzenia ogólnego (N) na podstawie średnich miesięcznych wartości tych dwóch zmiennych.

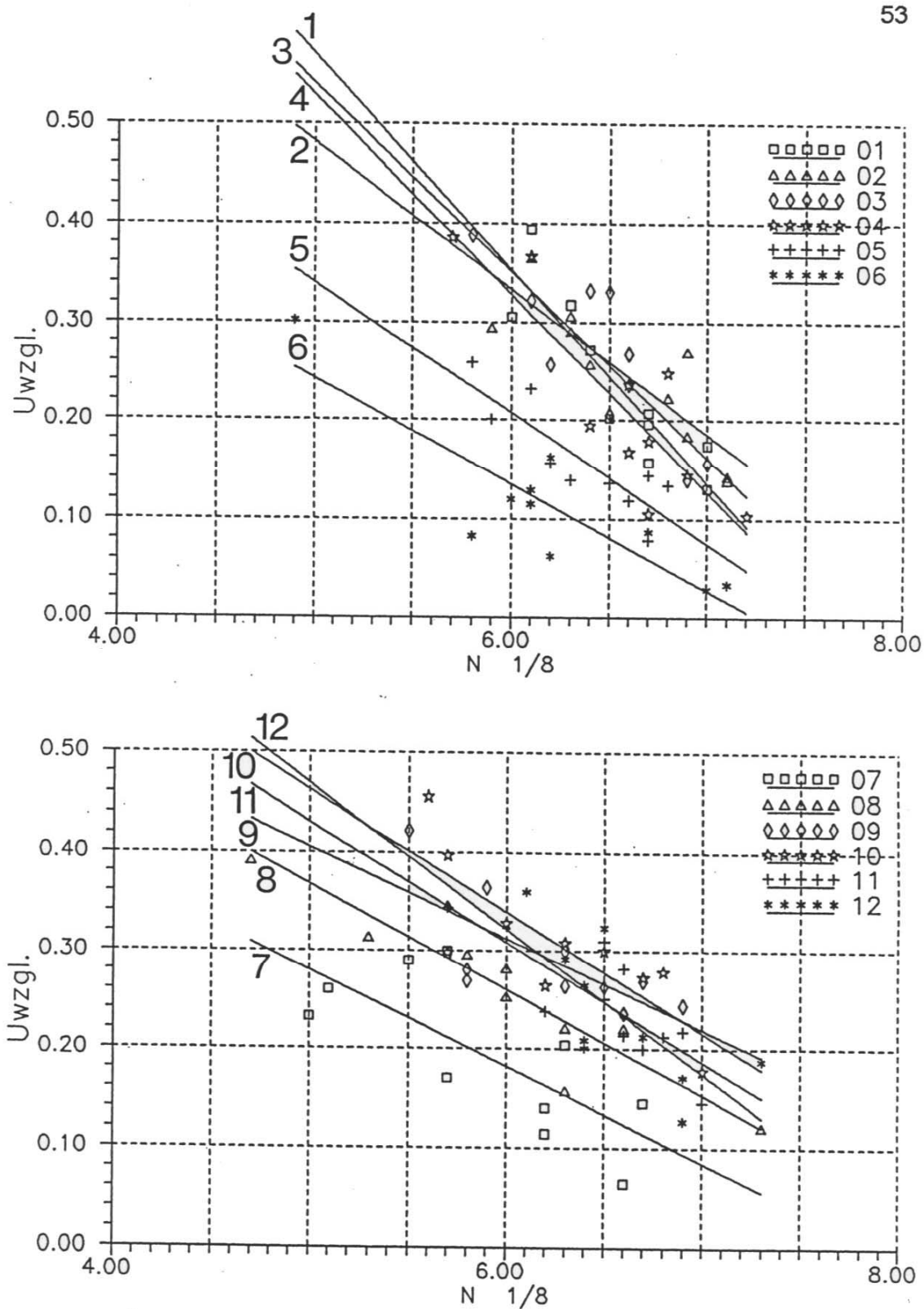
Po wykorzystaniu równań liniowych, eksponencjalnych i wielomianowych okazało się, że dla 10-ciolecia 1979-1983 i 1985-1989 (120 miesięcy) badaną zależność najlepiej objaśnia wielomian 3 stopnia (ryc.1) o postaci:

$$U_{wz} = 4.6598 - 2.1907 \cdot N + 0.3718 \cdot N^2 - 0.0215 \cdot N^3,$$

przy współczynniku korelacji $r = 0.469042$ i determinacji $d = 22\%$. Tak niskie wartości współczynników r i d wskazują na niezbyt silny związek korelacyjny pomiędzy badanymi elementami. Wobec uzyskanego wyniku konieczne stało się sprawdzenie czy



Ryc.1. Zależność między średnim miesięcznym zachmurzeniem ogólnym (N) a usłonecznieniem względnym (U_{wz}) w tych miesiącach na Stacji Arctowskiego w latach 1979-1983 i 1985-1989.



Ryc. 2. Związek między zachmurzeniem ogólnym (N) a usłonecznieniem względnym ($U_{wzgl.}$) w poszczególnych miesiącach na Stacji Arctowskiego w latach 1979-1983 i 1985-1989. Dopasowanie liniowe.

równie słaba zależność wystąpi w poszczególnych miesiącach. Tym razem najlepsze okazało się dopasowanie liniowe. Na ryc. 2 zwraca uwagę równoległe ułożenie linii dla 06, 07, 08, 09 i 10 oraz wyraźne pochylenie dla 11, 12, 02 i 03 przy największym nachyleniu w styczniu co potwierdza analiza współczynników regresji kolejnych równań:

01	$U_{wz} = 1.62899 - 0.21267 \cdot N$	$d = 81\%$	$r = 0.90000$
02	$U_{wz} = 1.31424 - 0.16316 \cdot N$	$d = 84\%$	$r = 0.91652$
03	$U_{wz} = 1.42055 - 0.18211 \cdot N$	$d = 65\%$	$r = 0.80623$
04	$U_{wz} = 1.27608 - 0.16631 \cdot N$	$d = 80\%$	$r = 0.89443$
05	$U_{wz} = 1.00541 - 0.13682 \cdot N$	$d = 72\%$	$r = 0.84853$
06	$U_{wz} = 0.70956 - 0.09907 \cdot N$	$d = 60\%$	$r = 0.77460$
07	$U_{wz} = 0.77363 - 0.10190 \cdot N$	$d = 46\%$	$r = 0.67823$
08	$U_{wz} = 0.86569 - 0.10532 \cdot N$	$d = 72\%$	$r = 0.84853$
09	$U_{wz} = 0.90083 - 0.09964 \cdot N$	$d = 75\%$	$r = 0.86603$
10	$U_{wz} = 0.90643 - 0.09598 \cdot N$	$d = 42\%$	$r = 0.64807$
11	$U_{wz} = 1.02682 - 0.11955 \cdot N$	$d = 65\%$	$r = 0.80622$
12	$U_{wz} = 1.18942 - 0.14506 \cdot N$	$d = 55\%$	$r = 0.74162$

W okresie od czerwca do października choć różnice w insolacji są duże (06 - 88 h, 09 - 287 h i 10 - 388 h) to wielkości współczynników korelacji są prawie takie same. Można by to wyjaśnić tym, że w ciągu dnia, kiedy operuje Słońce, zmiany zachmurzenia są niewielkie, a różnice w wielkości zachmurzenia (06 - 5.7, 10 - 6.2) wynikają ze zmiany N w nocy. Drugą przyczyną może być duża zmienność zachmurzenia w ciągu dnia, która nie uwidacznia się przy obserwacjach co 3 godziny (akurat w trakcie kolejnych obserwacji wielkość N jest taka sama lub podobna). Takie przyczyny zdaje się potwierdzać wielkość współczynnika d wynosząca w 07 - 46% i w 10 - 42%. Wyjaśnienie, która z tych przyczyn odgrywa większą rolę winno dać porównanie siły związków U_{wz} z N oraz U_{wz} z Nd.

Biorąc pod uwagę zachmurzenie dzienne uzyskano dla poszczególnych miesięcy następujące dopasowania:

01	$U_{wz} = 1.65667 - 0.21727 \cdot Nd$	$d = 80\%$	$r = 0.89443$
02	$U_{wz} = 1.22309 - 0.14828 \cdot Nd$	$d = 75\%$	$r = 0.86603$
03	$U_{wz} = 1.48934 - 0.18974 \cdot Nd$	$d = 71\%$	$r = 0.84261$
04	$U_{wz} = 1.53343 - 0.20089 \cdot Nd$	$d = 74\%$	$r = 0.86023$
05	$U_{wz} = 1.00153 - 0.13233 \cdot Nd$	$d = 73\%$	$r = 0.85440$
06	$U_{wz} = 0.78027 - 0.10755 \cdot Nd$	$d = 75\%$	$r = 0.86603$
07	$U_{wz} = 0.76734 - 0.09753 \cdot Nd$	$d = 54\%$	$r = 0.73485$
08	$U_{wz} = 0.09049 - 0.10745 \cdot Nd$	$d = 84\%$	$r = 0.91652$

09	$U_{wz} = 0.86963 - 0.09286 \cdot N_d$	$d = 54\%$	$r = 0.73485$
10	$U_{wz} = 1.07882 - 0.12324 \cdot N_d$	$d = 66\%$	$r = 0.81240$
11	$U_{wz} = 1.03967 - 0.12186 \cdot N_d$	$d = 62\%$	$r = 0.78740$
12	$U_{wz} = 1.20543 - 0.14726 \cdot N_d$	$d = 52\%$	$r = 0.72111$

Biorąc pod uwagę zmienność N i N_d (tab. 2) uzyskane wyniki nie dają w pełni zadowalającej odpowiedzi. Choć generalnie w okresie krótkiego dnia nastąpił wzrost wartości współczynnika d (05 - +1%, 06 - +5%, 07 - +8%, 08 - +12%), to jest on różny mimo stałej w tych miesiącach różnicy między N i N_d (0.2/8). Zastanawia również gwałtowny spadek wartości współczynnika determinacji we wrześniu (-21%) w porównaniu do równie silnego jego wzrostu w październiku (+24%), przy takiej samej różnicy pomiędzy N i N_d w obydwu tych miesiącach (0.1/8). Wy tłumaczenia tego zjawiska należy chyba poszukiwać w różnej charakterystyce rodzajowej chmur w obu miesiącach.

WNIOSKI

Przeprowadzona analiza związków zachodzących pomiędzy zachmurzeniem a usłonecznieniem na Stacji Arctowskiego pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Mierzona wielkość sum miesięcznych usłonecznienia zależna jest głównie od zachmurzenia ogólnego. Charakter tych związków precyzują zamieszczone w tekście równania regresji. Zależność $U_{wz} = f(N)$ jest jednak zdeterminowana tylko w granicach od 84% (max.) do 42% (min). Ogólnie większy stopień zdeterminowania tej zależności zaznacza się w miesiącach letnich, a mniejszy - w miesiącach końca zimy i antarkycznej wiosny. Średnio nieco większy stopień determinacji tej zależności ujawnia się gdy analizuje się wpływ zachmurzenia dziennego (N_d) na usłonecznienie.

2. Pomędzy badanymi elementami zachodzą związki o różnym, na ogół umiarkowanym, rzadziej dużym, stopniu ścisłości. W przypadku zachmurzenia ogólnego wartość współczynnika korelacji waha się od 0.65 w październiku do 0.92 w lutym. Zachmurzenieienne pozostaje w nieco bardziej ścisłym związku z U_{wz} gdyż r waha się od 0.72 w grudniu do 0.92 w sierpniu.

3. Kształtowanie się wielkości współczynników d i r w trakcie badania zmienności usłonecznienia względnego w czasie, w funkcji zachmurzenia dziennego i zachmurzenia ogólnego (w ujęciu średnich miesięcznych), potwierdza słuszność tezy, że w

szerokościach polarnych czas insolacji nie zależy tylko od wielkości zachmurzenia. Istotny wydaje się również rodzaj chmur i sposób ich rozłożenia na niebie. Będzie to szczególnie wyraźnie widoczne przy występowaniu chmur orograficznych.

4. Duże podobieństwo między wielkościami zachmurzenia ogólnego i zachmurzenia dziennego, choć to ostatnie jest na ogół nieco wyższe, nie znajduje równie pełnego odzwierciedlenia w zmienności parametrów równań i wielkości współczynników regresji. Szczególnie duże różnice występują w okresach przejściowych (wrzesień-październik i marzec-kwiecień) i zimą (czerwiec-lipiec). Wskazuje to na istotny wpływ różnic jakościowych między danymi o usłonecznieniu i zachmurzeniu oraz działania innych jeszcze czynników nie branych pod uwagę w analizie (np. błędy pomiaru heliografu) na charakter związku zachodzącego między U_{wz} a N_d . Jeżeli wielkość tego wpływu oszacować poprzez dopełnienie współczynnika determinacji do jedności, to okaże się, że w grudniu sięgać on może 48%, a w lipcu i wrześniu - 46%. a najmniej będzie w sierpniu (16%) i styczniu (20%). W świetle powyższego teza o znacznym udziale czynnika losowego mającego wpływ na charakter zależności pomiędzy usłonecznieniem a zachmurzeniem dziennym znajduje pełne potwierdzenie.

Być może naturę tych zależności bardziej szczegółowo uda się określić w momencie gdy badania przeprowadzi się na średnich dobowych. Dopóki jednak zachmurzenie notowane będzie jako wielkość dyskretna, to wobec bardzo dużej zmienności tego elementu w czasie, zwłaszcza w niektórych typach pogody i przy dużym oddziaływaniu rzeźby otoczenia (chmury orograficzne), bez przyjęcia daleko idących uproszczeń wydaje się, że zagadnienie to na Stacji Arctowskiego nie może zostać w zadowalający sposób rozwiązane.

Literatura cytowana:

- Brjazgin N.N., 1968. Prodolžitel'nost' solnečnogo sijanija i ee anomalii v period MGG i MGSS v Arktike. Trudy AANII, t. 274, s. 50-59.
- Grigor'jan V.A., Petrov L.S., 1976. Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti polej atmosfernogo davlenija v Antarktike. Trudy AANII, t. 328, s. 138-155.
- Kowalewski J., Wielbińska D., 1984. Characteristics of variation of meteorological elements in Ezcurra Inlet during the Polish Academy of Sciences' Second Antarctic Expedition from 20 December 1977 to 16 March 1978. Oceanologia, t. 15, s. 7-19.

- Kuczmarowski M., Paszyński J., 1981. Zmienność dobową i sezonową uśłonecznienia w Polsce. *Przegl. Geogr.*, t. 53, z. 4, s. 779-791.
- Petrov L.S., 1976. Prodolžitel'nost' solnečnogo sijanija v južnom poljarnom rajonie. *Trudy AANII*, t. 328, s. 116-130.
- Styszyńska A., 1992. Uśłonecznienie na Stacji Arctowskiego (King George Island, South Shetland Islands). [w:] *Problemy Klimatologii Polarnej* 2, WSM Gdynia, s. 12-20.