

KLASYFIKACJA ZIM W POLSKIEJ STACJI POLARNEJ W HORNSUNDZIE (SW SPITSBERGEN) W OKRESIE 1978/1979-2014/2015

WINTER CLASSIFICATION AT POLISH POLAR STATION IN HORNSUND (SW SPITSBERGEN) IN THE PERIOD OF 1978/1979–2014/2015

Zbigniew Caputa, Jan Leszkiewicz

Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec
zbigniew.caputa@us.edu.pl, jan.leszkiewicz@us.edu.pl

Zarys treści. Zmiany klimatu w ostatnich kilkudziesięciu latach w rejonie Hornsundu (SW Spitsbergen) wynikają głównie ze zmiany warunków pogodowych zim. Dlatego temperatura powietrza i grubość pokrywy śnieżnej, podstawowe elementy meteorologiczne charakteryzujące zimy, posłużyły do przeprowadzenia ich klasyfikacji. W wyniku standaryzacji tych elementów z wielolecia 1978/1979-2014/2015 wydzielono pięć typów zim: typowe (typ 0), mroźne i śnieżne (1), łagodne i śnieżne (2), mroźne i mało śnieżne (3) oraz łagodne i mało śnieżne (4). Taka klasyfikacja pozwoliła uporządkować zimy, określić tendencje ich zmian, scharakteryzować typy oraz dodatkowo, daje możliwość porównywania zim w różnych obszarach polarnych i wysokogórskich. W badanym okresie stwierdzono zmianę typu z zim mroźnych i śnieżnych na łagodne i mało śnieżne.

Słowa kluczowe: klasyfikacja zim, zmiany klimatu, standaryzacja danych, temperatura powietrza, grubość pokrywy śnieżnej, Spitsbergen.

1. Wstęp

Zima jest najdłuższą porą roku na Spitsbergenie. Dlatego też zmiany klimatu w ostatnich kilkudziesięciu latach w tym rejonie wynikały głównie ze zmiany czasu trwania i typu zim (Przybylak 2007, Ferdynus 2013). Temperatura powietrza i grubość pokrywy śnieżnej to podstawowe elementy meteorologiczne charakteryzujące zimę, jednocześnie wywierają one istotny wpływ na procesy biotyczne i abiotyczne, np. rozwój warstwy czynnej czy głębokość wieloletniej zmarzliny (Leszkiewicz i Caputa 2004, Dolnicki i in. 2013).

Próby określenia termicznych sezonów były podejmowane od początków badań klimatycznych w rejonie Hornsundu. Pionierskie badania dotyczyły najczęściej krótkich wydzieleń w okresie lata polarnego (Kosiba 1958, Baranowski 1968, Hisdal 1985, Leszkiewicz 1987, Głowacki i Niedźwiedź 1997). Dłuższe ciągi pomiarowe pozwalały określić klimat otoczenia stacji polarnej (Rodzik i Stepko 1985), reakcję temperatury powietrza na temperaturę gruntu (Miętus 1992), warunki śnieżne takie jak: głębokość śniegu i trwałość pokrywy śnieżnej (Miętus 1991), gęstość śniegu oraz jego właściwości termoizolacyjne (Pereyma 1983, Mięgała 1988) i inne. Temperatura powietrza i grubość pokrywy śnieżnej dały podstawę do szeregu analiz statystycznych i wnioskowania na ich podstawie, na przykład

o warunkach klimatycznych, czy też o reżimie termicznym gruntu. Zaleganie pokrywy śnieżnej wpływało na rozwój warstwy czynnej (Dolnicki 2002, Leszkiewicz i Caputa 2004) oraz głębokość zmarzliny (Caputa i Głowacki 2002), natomiast topnienie śniegu powodowało rozmarzanie gruntu.

Jak ustalił J. Ferdynus (2013) zima jest nie tylko najdłuższą porą roku na Polskiej Stacji Polarnej, ale jest również okresem o największym zróżnicowaniu typów pogody – od ekstremalnie zimnych (7,1%) do sporadycznie ciepłych (2,8%), z dominującymi jednak okresami bardzo zimnymi (35,6%) i zimnymi (24,8%). Autor ten podkreślił, iż w sezonie zimowym pogoda z ujemnymi temperaturami przez całą dobę występuje w ponad 80% wszystkich dni, a tylko w 2% dni powyżej zera. Wpływ na tak duże zróżnicowanie typów pogody ma cyrkulacja atmosferyczna (Niedźwiedz 2006, Niedźwiedz i in. 2012). Spitsbergen znajduje się w pobliżu strefy frontu arktycznego i odznacza się zwiększoną aktywnością cyklonalną (56,8% dni w roku). Aktywność cyklonalna w zimie i w jesieni przekracza odpowiednio 65,1% i 64,0% dni, dochodząc w listopadzie do 67,9% (Niedźwiedz 2013).

Głównym celem opracowania jest klasyfikacja zim ze względu na podstawowe elementy meteorologiczne (temperatura powietrza i grubość pokrywy śnieżnej). Pozwoli to na realizację podrzędnych celów: określenie charakterystyki poszczególnych typów zim, ich zmian w okresie 1978-2015 oraz tendencji analizowanych elementów w rejonie Hornsundu. Zaproponowana klasyfikacja zim i rozpoznanie warunków charakterystycznych dla poszczególnych typów zim pozwoli również na analizy statystyczne, powiązanie typów zim z różnymi elementami meteorologicznymi oraz rekonstrukcję danych meteorologicznych (np. temperatury gruntu). Klasyfikacja zim jest również ważna w przypadku modelowania temperatury (Aalto i in. 2014).

2. Metody opracowania i dane źródłowe

W badaniach posłużono się danymi z Polskiej Stacji Polarnej (77°00'N, 15°33'E)¹ położonej w południowej części Spitsbergenu na brzegu fiordu Hornsund. Fiord znajduje się pomiędzy górkami, pokrytymi lodowcami obszarami Sorkaplandu od południa i Ziemi Wedel Jarlsberga od północy. Dane pozyskano z Roczników Meteorologicznych Hornsund publikowanych początkowo pod redakcją D. Wielbińskiej (1980-1990), później M. Miętusa (2000-2001), Biuletynów Meteorologicznych Instytutu Geofizyki PAN 2009-2015 (<http://hornsund.igf.edu.pl>), bazy danych eKlima Norwegian Meteorological Institute (<http://eklima.met.no> 1995-2014). Część danych uzupełniono i zweryfikowano za pomocą publikowanych materiałów w monografii *Climate and climate change...* (Marsz i Styszyńska 2013).

Metodę klasyfikacji zim na podstawie standaryzacji danych (temperatura powietrza i grubość pokrywy śnieżnej) dla Kasprowego Wierchu (Tatry) w latach 1954-2010 zastosował Leszkiewicz (2012)². W przypadku Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie, w analizie statystycznej zastosowano dane z 37 sezonów zimowych od października 1978 do maja 2015. Za zimę przyjęto okres od 10 października do 20 maja korzystając z klasyfikacji termicznej (Kwaśniewska i Pereyma 2004). Krótszy okres zimowy podał Ferdynus (2013), opierając się na dłuższej serii pomiarowej. Powodem przyjęcia od obliczeń statystycznych podanego wyżej dłuższego okresu zimowego (217 dni, co stanowi 60%

¹ Stacja meteorologiczna w Hornsundzie – numer WMO 01003 (the Hornsund meteorological station – WMO number 01003).

² Jan Leszkiewicz, 2012. Klasyfikacja zim w piętrze alpejskim Tatr w latach 1954-2010. Referat wygłoszony na XXII Ogólnopolskim Seminarium Meteorologii i Klimatologii Polarnej w Poznaniu, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, 11-12 maja 2012 r.

dni w roku) jest fakt występowania pokrywy śnieżnej już z początkiem października oraz zaleganie jej do początków czerwca. Pozwolił on obliczyć średnie wartości temperatury powietrza i grubości pokrywy śnieżnej w poszczególnych sezonach zimowych. Istotne znaczenie miało to zwłaszcza w tych sezonach, w których po pierwszym, bardzo wczesnym opadzie śniegu jego pokrywa nie tajała. Rozkład temperatury powietrza był zbliżony do rozkładu normalnego, co sprawdzono przy pomocy testu Shapiro-Wilka. Natomiast rozkład grubości pokrywy śnieżnej był skośny (0,7), co wynika z natury tego zjawiska.

W celu klasyfikacji zim dane poddano standaryzacji – osobno wartości temperatury powietrza (T) i grubości śniegu (SN). Po standaryzacji wartości średnie (T i SN) przyjęły wartość zero (środek układu współrzędnych), a ich pierwsze odchylenia standardowe były równe jeden, drugie równe dwa, etc. (ryc. 1A). Przedstawiona klasyfikacja zim (nazwana metodą odległości standaryzowanej) opiera się na odległości r od środka standaryzowanego układu współrzędnych (równanie 1) i jest modyfikacją metody opartej na odchyleniach standardowych. Na wykresie rozrzutu wartości standaryzowane zastąpiono rzeczywistymi (ryc. 1B). Odległość $r \leq 1$ wyznaczyła zimy typowe. Następnie podzielono zimy ze względu na wartości średnie arytmetyczne (T i SN) z 30-lecia 1980/1981-2010/2011 zalecanego przez WMO jako okres standardowy w klimatologii. Pozostałe typy to zimy mroźne i śnieżne (typ 1), zimy łagodne i śnieżne (typ 2), zimy mroźne i mało śnieżne (typ 3) oraz zimy łagodne i mało śnieżne (typ 4). Poza klasyfikacją, dodatkowo, wyróżniono zimy ekstremalne ($r \geq 2$).

$$r = \sqrt{(T_1 - T_0)^2 + (SN_1 - SN_0)^2} \quad (1)$$

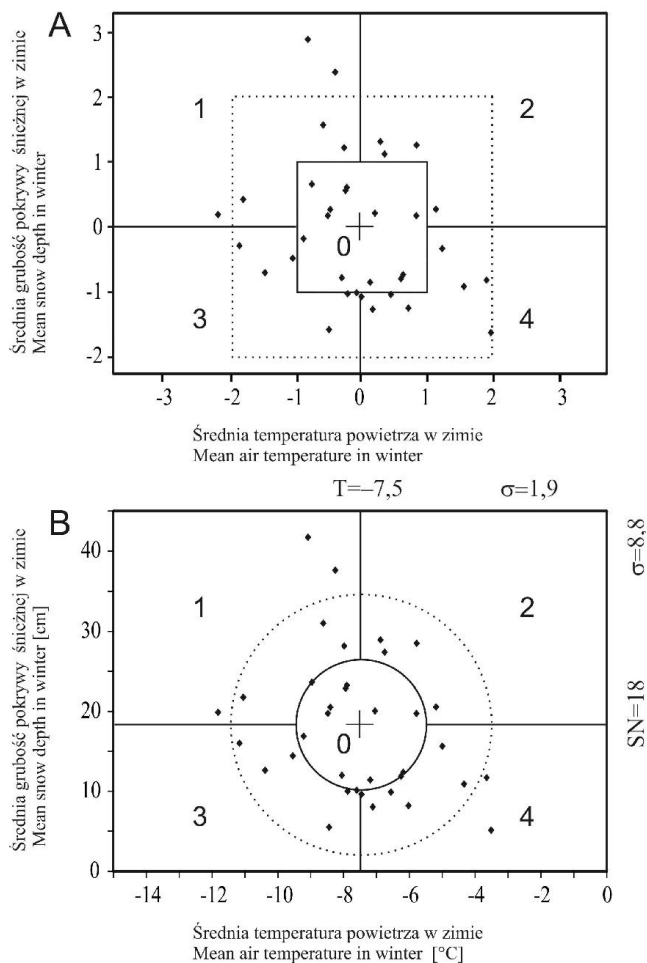
Charakterystykę zim ekstremalnych wyjaśniono za pomocą analizy wartości średniej temperatury powietrza oraz grubości pokrywy śnieżnej. Dodatkowo obliczono wskaźnik PDD (positive degree-day) oraz NDD (negative degree-day). Obliczono je na podstawie wartości średniej dobowej temperatury powietrza (Braithwaite 1995, Głowacki 2007). Wielkości te są definiowane odpowiednio jako iloczyn długości okresu (liczba dni) i średnich dobowych wartości dodatniej (PDD) i ujemnej (NDD) temperatury powietrza.

3. Wyniki

Zastosowanie metody klasyfikacji zim na podstawie odległości od środka standaryzowanego układu współrzędnych dało możliwość analizy 37 okresów zimowych z uwzględnieniem dwóch istotnych elementów meteorologicznych (T i SN). Wynikiem przeprowadzonych badań było wyróżnienie 5 typów zim. Pozwoliło to na ich charakterystykę oraz określenie tendencji zmian w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w okresie 1978/1979-2014/2015. Zimowe warunki klimatyczne zmieniły się od zim mroźnych i śnieżnych (początek lat 80-tych i 90-tych), poprzez zimy typowe (połowa lat 80-tych, połowa lat 90-tych oraz początek lat dwutysięcznych) do zim łagodnych i mało śnieżnych (po roku 2004/2005 do końca okresu badań) – ryc. 2 i 3. Zimy mroźne i śnieżne występowały na początku okresu badań. Po wyjątkowo surowym (pod względem klimatycznym) sezonie 1997/1998 nie wystąpiła już żadna mroźna i śnieżna zima. Natomiast pierwsza zima łagodna i mało śnieżna wystąpiła w sezonie 1994/1995. Ostatnie sześć sezonów to wyłącznie zimy łagodne i mało śnieżne.

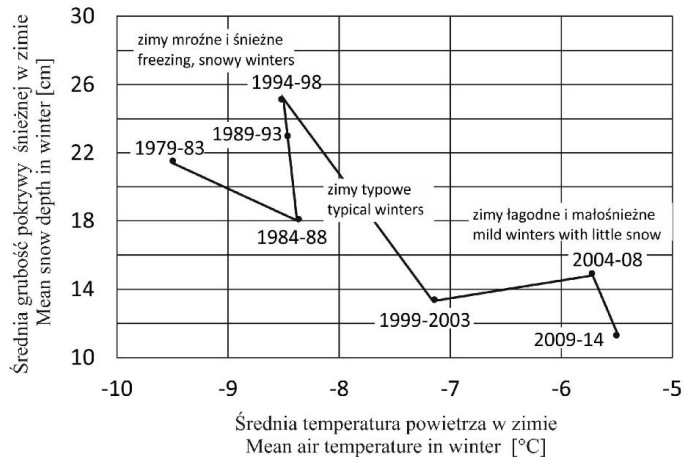
Najczęściej występowały zimy typowe (typ 0 – 31% przypadków), co wynikało z przyjętej metody (odległości $r \leq 1$) i świadczyło o rozkładzie typów zim zbliżonych do wartości średniej. Tendencję zmian klimatycznych współczesnego ocieplenia potwierdzała tylko nieznacznie mniejsza częstość zim łagodnych i mało śnieżnych (typ 4 aż 28% przypadków). Jak już wcześniej wspomniano wszystkie

ostatnie zimy należały do tego typu. Mniej było zim mroźnych i śnieżnych (17%). Pozostałe typy zim (typ 2 i 3) stanowiły 14 i 11% przypadków (ryc. 4).



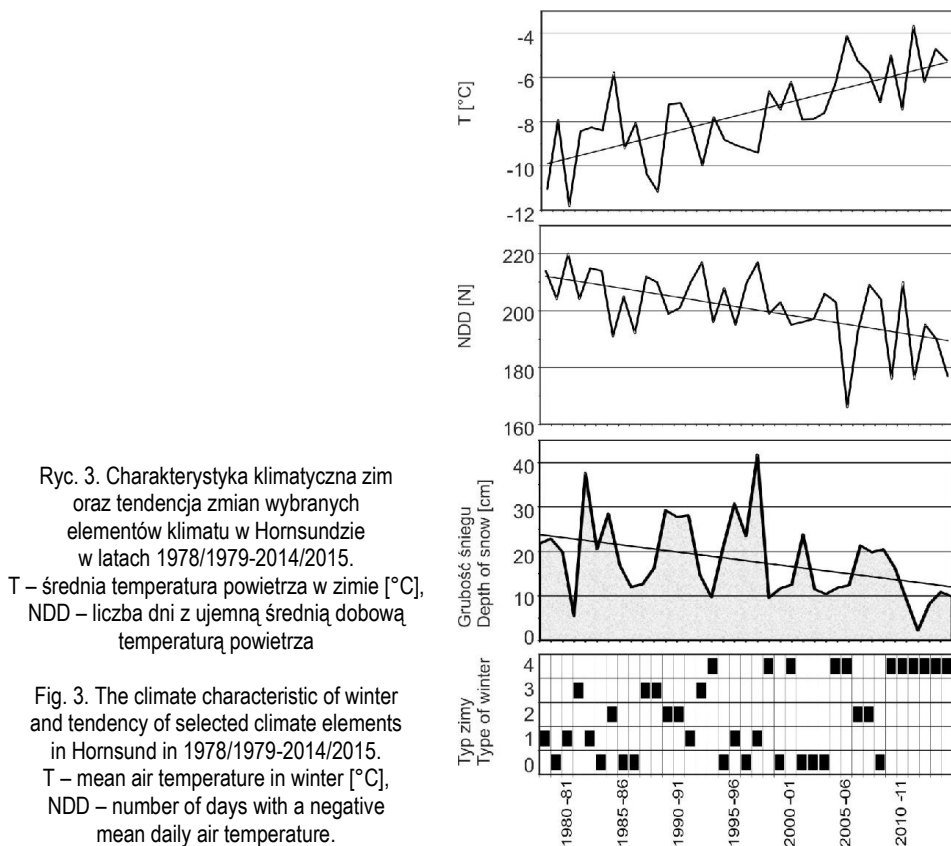
Ryc. 1. Porównanie metod klasyfikacji zim w Hornsundzie w latach 1978/1979-2014/2015.
 0, 1, 2, 3, 4 – typy zim. T – temperatura powietrza, SN – grubość pokrywy śnieżnej (średnia i δ – odchylenie standardowe) dla standardowego 30-lecia (1980/1981–2010/2011). Krzyż – wartości średnie (T i SN),
 A – Metoda oparta na odchyleniach standardowych: kwadrat (linia ciągła) – $\delta = 1$, kwadrat (linia przerywana) – $\delta = 2$ (wartości standaryzowane).
 B – Metoda oparta na odległości od środka standaryzowanego układu współrzędnych: okrąg (linia ciągła) – odległość $r = 1$, okrąg (linia przerywana) – $r = 2$

Fig. 1. Comparison of methods for classification of winters in Hornsund in the period of 1978/1979-2014/2015.
 0, 1, 2, 3, 4 – types of winter. T – air temperature, SN – snow depth (mean and δ – standard deviation) for a standard 30-year period (1980/1981–2010/2011). Cross – mean value (T and SN).
 A – Method based on standard deviations: square (solid line) – $\delta = 1$ square (dashed line) – $\delta = 2$ (standard values).
 B – Method based on the distance from the center of standardized coordinate system: circle (solid line) – the distance $r = 1$ circle (dashed line) – $r = 2$.



Ryc. 2. Tendencja zmiany typów zim w Hornsundzie w kolejnych pentadach zimowych wartości średniej temperatury powietrza i grubości pokrywy śnieżnej w okresie 1978/1979-2014/2015

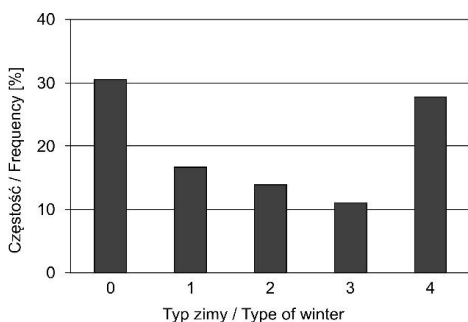
Fig. 2. The tendency in the change of the winter types in Hornsund in the consecutive 5-year winter values of mean air temperature and snow depth in 1978/1979-2014/2015.



Ryc. 3. Charakterystyka klimatyczna zim oraz tendencja zmian wybranych elementów klimatu w Hornsundzie w latach 1978/1979-2014/2015.

T – średnia temperatura powietrza w zimie [°C],
 NDD – liczba dni z ujemną średnią dobową temperaturą powietrza

Fig. 3. The climate characteristic of winter and tendency of selected climate elements in Hornsund in 1978/1979-2014/2015.
 T – mean air temperature in winter [°C],
 NDD – number of days with a negative mean daily air temperature.



Ryc. 4. Rozkład typów zim w okresie 1978/1979-2014/2015

Fig. 4. Distribution of the types of winters in the period of 1978/1979-2014/2015.

Przykładem zimy mroźnej i śnieżnej był sezon 1997/1998 (ryc. 5, tab. 1). Zima ta charakteryzowała się niskimi temperaturami (najniższą temperaturą $-29,4^{\circ}\text{C}$, średnią temperaturą $-9,1^{\circ}\text{C}$) oraz wysoką pokrywą śnieżną (maksymalna grubość śniegu 80 cm, średnia 41,7 cm). Sezon ten cechował się 88% udziałem dni właściwych, tzn. dni ze średnią temperaturą dobową powietrza poniżej $-2,5^{\circ}\text{C}$ (Kwaśniewska i Pereyma 2004). Opad zimowy wyniósł 250,0mm.

Przykładem zimy łagodnej i mało śnieżnej był sezon 2011/2012 (ryc. 5, tab. 1). O łagodnej zimie świadczyła nie tylko najniższa temperatura powietrza ($-17,1^{\circ}\text{C}$), czy też średnia temperatura za okres zimowy wynosząca $-3,5^{\circ}\text{C}$, ale przede wszystkim częste odwilże i wzrosty temperatury powietrza do wartości dodatnich. Te odwilże w czasie zimy były przyczyną topnienia śniegu i okresów z brakiem ciągłej pokrywy śnieżnej. Ujawniła się szczególna rola pogód związanych z przejściem temperatury dobowej przez 0°C – w analizowanym łagodnym, mało śnieżnym sezonie zimowym często występowały pogody przejściowe, nazwane przez Ferdynusa (2006) przymrozkowo-odwilżowymi. Przedstawione warunki meteorologiczne sprawiły, że pomimo wysokiego stosunkowo opadu zimowego (343,8 mm), średnia grubość pokrywy śnieżnej wyniosła tylko 9,5 cm.

Tabela 1. Zimy ekstremalne ($r \geq 2$) w Hornsundzie w latach 1978/1979-2014/2015

Table 1. The extreme winters ($r \geq 2$) in Hornsund in 1978/1979-2014/2015.

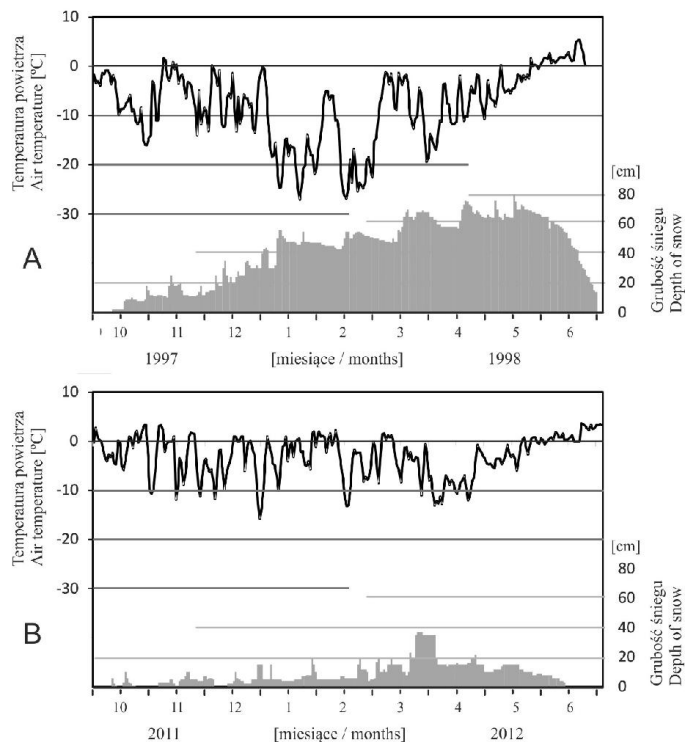
Typ zimy / Type of winter	Zima / Winter	T [$^{\circ}\text{C}$]	SN [cm]
Zimy mroźne, śnieżne Freezing, snowy winter	1980/81	-11,8	20
	1982/83	-8,3	38
	1997/98	-9,4	42
Zimy łagodne, małośnieżne Mild winter with little snow	2005/06	-3,8	12
	2011/12	-3,7	10

Dodatkowym czynnikiem łagodzącym surowość zimy, a jednocześnie mającym duży wpływ na kształtowanie się i metamorfozę pokrywy śnieżnej były występujące często odwilże. Parametrem, który to charakteryzuje w sposób ilościowy może być wskaźnik PDD (ryc. 3). Jego najwyższa wielkość w standardowym trzydziestolecu osiągnęła wartość 93, minimalna 6 i średnia 30. Natomiast wartości wskaźnika temperatury ujemnej (NDD) wyniosły odpowiednio: 217, 131 i 193.

4. Dyskusja

Metody klasyfikacji termicznych zajmowały istotną pozycję wśród stosowanych metod klasyfikacyjnych w klimatologii. W Polsce, jako pierwszy, Warakowski (1992), posłużył się wartościami odchy-

lenia standardowego do ustalenia okresów „łagodnych”, „umiarkowanych” i „surowych”. Nawiązanie do tej koncepcji można odnaleźć w późniejszych pracach Lorenc i Suwalskiej-Boguckiej (1996), dotyczących oceny sezonów zimowych na wybranych 10 polskich stacjach, oraz w pracy Lorenc (2000), gdzie sklasyfikowano pod kątem termicznym (i opadowym) sezony i lata. Inną klasyfikację oparto na interwałach skali wyznaczonych przez określone wartości kwantyli. Tego typu klasyfikacje były stosowane m.in. przez IPCC do oceny zmian klimatycznych w określonych przedziałach czasowych. Po raz pierwszy użycie tej metody w polskiej klimatologii zostało zaproponowane do badań zmienności warunków termicznych na obszarze Wybrzeża (Miętus i in. 2002). Później stosowana m.in. przez IMGW oraz szczegółowo omówiona i proponowana do opisu zjawisk ekstremalnych (Czarnecki i Miętus 2011).



Ryc. 5. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza i grubości pokrywy śnieżnej w Polskiej Stacji Polarnej w zimie: A – mroźnej, śnieżnej 1997/1998 i B – łagodnej, mało śnieżnej 2011/2012

Fig. 5 The course of mean daily air temperature and snow depth at Polish Polar Station in winter: A – freezing, snowy winter of 1997/1998, and B – mild winter with little snow of 2011/2012.

Zastosowanie dwóch lub więcej elementów meteorologicznych wymaga stosowania innych metod albo kompilacji opartych na wymienionych metodach. Zaproponowana metoda pozwoliła uwzględnić dwa elementy charakteryzujące zimę oraz stosunkowo krótki okres pomiarowy. Na podstawie klasyfikacji wydzielono typy określające podstawowe cechy zim: mroźne/łagodne i śnieżne/moło śnieżne. Dodatkowo wyróżniono zimy ekstremalne ($r \geq 2$). Natomiast rozkład częstości potwierdził poprawność zastosowanej metody.

Przyjęcie kryterium odległości od środka standaryzowanego układu współrzędnych zamiast odchylenia standardowego zwiększyło czułość metody. W konsekwencji otrzymano większą liczbę zim ekstremalnych. I tak na przykład skrajne zimy łagodne i mało śnieżne 2005/2006 i 2012/2013 nie są ekstremalne w przypadku przyjęcia klasyfikacji opartej na odchyleniach standardowych. Zastosowana klasyfikacja pozwoliła również na dyskusję nad tendencją zmian zim w badanych wieloleciu. Zestawienie wybranych elementów meteorologicznych wskazało na te, które zdecydowanie ulegały zmianom ze względu na postępujące ocieplenie klimatu obszarów polarnych (ryc. 3). Wzrost temperatury, zmniejszająca się liczba dni NDD oraz mniejsze wartości grubości pokrywy śnieżnej w następujących po sobie zimach typu 4 (łagodne i mało śnieżne) świadczą o utrzymującej się tendencji ocieplenia.

Inne badania Głowackiego (2007) wskazały na skracający się okres trwania zimy, a w sezonach zimowych występowało coraz więcej odwilży. Według tych samych badań okres zimy polarnej w rejonie Hornsundu wynosił średnio 246 dni. Najdłuższą zimą od końca lat 70-tych była zima 1982/1983, która rozpoczęła się 31 sierpnia 1982 roku i trwała 283 dni, do 9 czerwca 1983 r. Najkrótsze okresy zimowe zanotowano w sezonach 2002/2003 (214 dni) oraz 1990/1991 (218 dni) (Głowacki 2007).

Odrębną kwestią wymagającą dalszych studiów jest znaczenie zimowego opadu atmosferycznego dla klimatu regionu Hornsundu. Częste pogody przejściowe przymrozkowo-odwilżowe powodują, iż obok opadu stałego duży jest udział opadu ciekłego i mieszanego w sumie opadów zimowych. To nie suma opadów decyduje o typie zimy, ale napływ ciepłych mas powietrza i towarzyszące mu zjawiska pogodowe takie jak: odwilże zimowe i silne wiatry powodujące wywiewanie śniegu. Przyczyną redepozycji pokrywy śnieżnej jest prędkość wiatru, co jest jedną z przyczyn nierównomiernego rozkładu pokrywy śnieżnej na obszarze Spitsbergenu (Oleszkiewicz i Pulina 1999, Grześ i Sobota 2000, Grabiec i in. 2006).

5. Podsumowanie

Przedstawiona metoda odległości standaryzowanej pozwala na klasyfikację zim na podstawie podstawowych elementów meteorologicznych: temperatury powietrza i grubości pokrywy śnieżnej w odniesieniu do standardowego okresu 30-lecia (1980/1981-2010/2011). Wydzielone 5 typów zim były wystarczające do scharakteryzowania warunków klimatycznych zim w obszarze polarnym Hornsund. Zaproponowana modyfikacja metody opartej na odchyleniu standardowym zwiększyła jej czułość. Pozwoliła wyróżnić więcej przypadków ekstremalnych zim. Uzyskane wyniki potwierdziły tendencję współczesnego ocieplenia. Typ zim uległ zmianie z zim mroźnych, śnieżnych (lata 80-te i 90-te) na zimy łagodne i mało śnieżne na początku XXI wieku. Tendencja ta wydaje się mieć charakter trwały. W ostatnich latach występowały wyłącznie zimy łagodne i mało śnieżne. Długość zim ulegała skróceniu, a w sezonach zimowych występowało coraz więcej odwilży.

Zaprezentowana na przykładzie Stacji Polarnej w Hornsundzie metoda klasyfikacji może być zastosowana do porównania zim w regionach polarnych, zimnych i wysokogórskich oraz do porównania tendencji zmian klimatycznych w różnych obszarach.

Literatura

Aalto J., Roux P.C., Luoto M., 2014. The meso-scale drivers of temperature extremes in high-latitude Fennoscandia. *Climate Dynamics*, 42: 237-252.

- Baranowski S., 1968. Termika tundry peryglacialnej, SW Spitsbergen. *Studia Geograficzne* 10, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 68: 77 s.
- Braithwaite R.J., 1995. Positive degree-day factors for ablation on the Greenland ice sheet studied by energy-balance modelling. *Journal of Glaciology*, 41 (137): 153-160.
- Caputa Z., Głowacki P., 2002. Pomiary termiki gruntu oraz promieniowania słonecznego w latach 1989-1995 Hornsund, SW Spitsbergen. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 8: 111-123.
- Czarnecki B., Miętus M., 2010. Porównanie stosowanych klasyfikacji termicznych na przykładzie wybranych regionów Polski. *Przegląd Geofizyczny*, 56 (3-4): 201-233.
- Dolnicki P., 2002. Wpływ pokrywy śnieżnej na termikę i grubość warstwy czynnej zmarzliny w obszarze tundrowym rejonu Polskiej Stacji Polarnej (SW Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12: 107-116.
- Dolnicki P., Grabiec M., Puczek D., Gawor Ł., Budzik T., Klementowski J., 2013. Variability of temperature and thickness of permafrost active layer at coastal sites of Svalbard. *Polish Polar Research*, 34 (4): 353-374.
- Ferdynus J., 2006. Pogody przymrozkowo-odwilżowe w rocznej strukturze stanów pogód Hornsundu (SW Spitsbergen) w latach 1980–2005. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 115-124.
- Ferdynus J., 2008. Struktura stanów pogód w Hornsundzie w czasie trwania nocy polarnej. [w:] Kowalska A., Latocha A., Marszałek H., Pereyma J. (red.), *Środowisko przyrodnicze obszarów polarnych*. Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław: 116-124.
- Ferdynus M., 2013. States of the weather and weather seasonality. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. The publishing house of Gdynia Maritime University: 221-251.
- Głowacki P., 2007. Rola procesów fizyczno-chemicznych w kształtowaniu struktury wewnętrznej i obiegu masy lodowców Spitsbergenu. *Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences, Monographic Volume M-30 (400)*: 146 s.
- Głowacki P., Niedźwiedz T., 1997. Climatological conditions in Hornsund (Spitsbergen) during Polish Polar Expeditions. [w:] P. Głowacki (red.) *Polish Polar Studies. 24th Polar Symposium, Warszawa, 1997*. Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa: 81-94.
- Instytut Geofizyki PAN, 2009-2015. Biuletyn meteorologiczny – Spitsbergen – Hornsund (*Meteorological Bulletin – Spitsbergen – Hornsund*), 2009.10-2015.06 (available on line at: www.glacio-topoclim.org/index.php/reports).
- Kosiba A., 1958. O konieczności ujednoczenia skali międzynarodowej podstawowych kryteriów termicznych w klimatologii. *Przegląd Geograficzny*, 3: 27-31.
- Kwaśniewska E., Pereyma J., 2004. Termiczne pory roku w Hornsundzie (SW Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 157-169.
- Leszkiewicz J., 1987. Charakterystyczne cechy zlewni polarnych oraz próba modelowania statystycznego topnienia śniegu i odpływu ablacyjnego w zachodniej części Spitsbergenu. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego*, 920: 84 s.
- Leszkiewicz J., Pulina M., 1996. Snow fall phases in analysis of a snow cover in Hornsund, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 20 (1): 3-24.
- Leszkiewicz J., Caputa Z., 2004. The thermal condition of the active layer in the permafrost at Hornsund, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 25 (3-4): 223-239.
- Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1996. Thermal tendencies of winters in Poland as the indicator of climate variability. *Zeszyty Naukowe UJ., Prace Geograficzne*, 102: 365-374.
- Lorenc H., 2000. Termiczno-opadowa ocena klimatycznych sezonów roku w Polsce oraz tendencje czasowo-przestrzenne. Projekt badawczy M-9, IMGW, Maszynopis.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. The publishing house of Gdynia Maritime University: 402 s.

- Miętus M., 1991. Snow depth at the Hornsund Station, Spitsbergen in 1978-1986. *Polish Polar Research*, 12: 223-228.
- Miętus M., 1992. Statistical characteristics of soil temperature at the depth of 5 cm in thermal seasons, Hornsund, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 13: 103-112.
- Miętus M., Owczarek M., Filipiak J., 2002. Warunki termiczne na obszarze Wybrzeża i Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji. *Materiały Badawcze IMGW, seria Meteorologia*, 36: 56 s.
- Miętus M. (red.), 2000-2001. *Roczniki Meteorologiczne Hornsund (Meteorological Yearbooks Hornsund) (1978/79-1980/81, 1982/83-1999/2000)*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział Morski, Gdynia.
- Migała K., 1988. Snow cover influence on active layer of permafrost (Hornsund region, Spitsbergen). 15 Sympozjum Polarne, Wrocław: 230-239.
- Niedźwiedz T. 2006. Główne cechy cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem (XII.1950-IX.2006). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 91-105.
- Niedźwiedz T., Łupikasa E., Małarzewski Ł., 2012. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 22: 17-26.
- Niedźwiedz T., 2013. The atmospheric circulation. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. The publishing house of Gdynia Maritime University: 57-74.
- Pereyma J., 1983. Climatological problems of the Hornsund area, Spitsbergen, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 714: 134 s.
- Przybylak R., 2007. Recent air-temperature changes in the Arctic. *Annals of Glaciology*, 46: 316-324.
- Rodzik J., Stepko W., 1985. Climatic conditions in Hornsund (1978-1983). *Polish Polar Research*, 6: 561-576.
- Warakomski W., 1992. W poszukiwaniu koncepcji anomalii klimatycznych. *Annales UMCS 1989-1990, sec. B*, 44/45: 211-224.
- Wielbińska D. (red.), 1980-1990. *Rocznik meteorologiczny Hornsund: 1957/58, 1978/79, 1979/80, 1980/81, 1982/83, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1987/88, 1988/89, 1989/90*, IMGW, Gdynia.

Wpłynęło: 1 sierpnia 2015 r., poprawiono: 15 października 2015 r., zaakceptowano: 21 listopada 2015 r.

Summary

The progressive warming of climate in recent decades in the region of Hornsund (SW Spitsbergen) has resulted mainly from a change in the nature of winters. Air temperature and snow depths, the basic elements characterizing the meteorological winter, were used to develop the winter classification. As a result of the standardization of the data, five types of winter have been distinguished: typical winter (type 0) and four the other four types of winter: freezing, snowy winter (1), mild, snowy winter (2), freezing winter with little snow (3), mild winter with little snow (4). In the period of 1978/1979-2014/2015 the following have been found out the change from the freezing and snowy winters to mild winters with little snow.

Key words: winter classification, climate change, Spitsbergen, standard score, air temperature, snow depth.