

UWARUNKOWANIA KLIMATYCZNE AKTYWNOŚCI GEOMORFICZNEJ, WYSPA KRÓLA JERZEGO, SZETLANDY POŁUDNIOWE

Zbigniew Zwoliński

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Badań Czwartorzędu i Geoekologii
zbbw@amu.edu.pl

1. Wprowadzenie

Stale powiększanie się obszarów wolnych od lodów w obrębie Antarktyki (Battke, Marsz i Pudelko 2001, Marsz 2000a, Piasecki 1988, Rachlewicz 1995, 2001, Rakusa-Suszczewski 1999, Skvarca i in. 1998,) ma istotne znaczenie dla funkcjonowania geosystemu antarktycznego. Polega ono w głównej mierze na zwiększeniu powierzchni i dostępności skał podłoża i pokryw osadowych dla procesów wietrzeniowych, denudacyjnych, transportowych i depozycyjnych, co ma bezpośrednie przełożenie na wzrost aktywności geomorficznej na rozległych odsłoniętych obszarach poddanych działaniu takich czynników jak promieniowanie słoneczne, wiatr, woda, lód w polu grawitacji (Zwoliński 2002). Równocześnie powiększanie się obszarów wolnych od lodu wpływa stymulująco na wystąpienie dodatnich anomalii w bilansie cieplnym tych obszarów dzięki pochłanianiu większej ilości energii słonecznej przez podłoże o ciemnym zazwyczaj zabarwieniu. Na tej drodze generowane jest autowspomaganie przyspieszania procesu rozrastania się obszarów wolnych od lodu, a tym samym zwiększanie aktywności geomorficznej na tych obszarach. Stąd w sposób istotny rośnie znaczenie rozpoznania stylu funkcjonowania geosystemów antarktycznych, położonych na archipelagach i wyspach wokółantarktycznych, jak i na obrzeżeniach samego kontynentu antarktycznego.

Aktywność geomorficzna to zespół zdarzeń i procesów oraz ich efektów na kolejnych etapach ewolucji kształtowania powierzchni Ziemi. W przypadku subantarktycznej strefy morfoklimatycznej aktywność geomorficzna najlepiej jest widoczna przede wszystkim na obszarach wolnych od lodu (Zwoliński 2002). Z uwagi na skomplikowany charakter tego typu działalności, obejmującej zbyt wiele najprzeróżniejszych zjawisk i świadectw, do tej pory nie została jednoznacznie określona efektywna miara aktywności geomorficznej. Pewną próbą w tym zakresie jest propozycja obliczania tempa denudacji (Kostrzewski, Mazurek i Zwoliński 1994, Zwoliński 1989), należy jednak zaznaczyć, że tempo to dotyczy jedynie procesów niszczących. Inną próbą jest określanie dynamiki transportu fluwialnego (Kostrzewski, Mazurek i Zwoliński 1994, Mazurek 2000, Zwoliński 1989) jako miary zdarzeń mających miejsce na obszarze zlewni. Idąc tym tropem dalej, w niniejszym artykule

proponuje się inną miarę aktywności geomorficznej, a mianowicie mobilność materii mineralnej w ogóle we wszelkich możliwych przejawach. Takie rozumienie aktywności geomorficznej wynika z faktu, że jest ona efektem sumy procesów niszczących występujących na danym obszarze i jednocześnie wyraża zdolności transportowe i depozycyjne (Zwoliński 1992, 1997, 2001, 2002) geoeosystemów funkcjonujących na rozpatrywanym obszarze.

Pomiar ruchu materii mineralnej, choć wysoce trudny merytorycznie i technicznie, wymagający dużego zespołu specjalistów a nawet badań interdyscyplinarnych, proponuje się zastąpić badaniami innego zestawu czynników bardzo ściśle wpływających na charakter i tempo obiegu materii mineralnej, a mianowicie elementów meteorologicznych. W ten sposób tworzy się pewien ciąg logiki systemowej, opisującej podstawy metodologiczne niniejszej pracy:

warunki pogodowe → obieg materii mineralnej → aktywność geomorficzna.

Reasumując proponowane podejście badawcze można stwierdzić, że surogatem aktywności geomorficznej jest mobilność materii mineralnej, która jest funkcją warunków pogodowych. Zatem warunki pogodowe mogą być w pewnym sensie i zakresie miarą aktywności geomorficznej. Wymiernym opisem warunków pogodowych są elementy meteorologiczne mierzone w odpowiednio dobranych skalach i przedziałach czasowych. Zmienność czasowa elementów meteorologicznych determinuje zatem dynamiczny, zmienny charakter aktywności geomorficznej.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie propozycji metodyki pośredniego oszacowania aktywności geomorficznej na obszarach wolnych od lodu na Wyspie Króla Jerzego (Szetlandy Południowe, Antarktyka Zachodnia), poprzez analizę uwarunkowań klimatycznych wpływających na mobilność materii mineralnej. Obszary wolne od lodu w zlewni Zatoki Admiralicji zajmują obecnie powierzchnię ponad 25 km² (Zwoliński 2002), a ich opisy fizjograficzne można znaleźć między innymi u Marsza (2000a), Rakusy-Suszczewskiego (1992, 1999) i innych.

2. Metoda badawcza

W celu uchwycenia zmiennej w czasie aktywności geomorficznej poprzez jednoczesną zmienność elementów meteorologicznych wybrano sprawdzoną technikę typologiczną zaproponowaną przez Wosia (1977) do określania struktury sezonowej klimatu. Technika ta m.in. została z powodzeniem zastosowana przez Ferdynusa i Marsza (2000) oraz Marsza (1992) do wyznaczenia stanów pogody i sezonowości pogodowej dla okolic Stacji im. H. Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego. Autorzy ci zgodnie z założeniami metody zinterpretowali swoje wyniki typologizacji w kategoriach meteorologicznych i klimatycznych. W niniejszej pracy natomiast zostanie podjęta próba zastosowania pewnych założeń tej metody w sposób zmodyfikowany i zinterpretowania uzyskanych wyników w kategoriach obiegu materii mineralnej i aktywności geomorficznej zgodnie z przedstawioną powyżej logiką systemową. Próba taka jest możliwa, bowiem jak zauważają Woś (1977, 1996) oraz Ferdynus i Marsz (2000) dobór cech czyli elementów meteorologicznych jest w tej metodzie dowolny. Żaden z autorów nie zdefiniował ile i które cechy winny być użyte w procedurze typologicznej, a jedynie w zależności od posiadanego materiału dokumentacyjnego przedstawili swój wybór elementów meteorologicznych opisujący strukturę sezonową klimatu.

Na potrzeby niniejszej pracy wybrano dwie grupy elementów meteorologicznych, które spełniają warunki dla cech o charakterze ciągłym i dyskretnym oraz dają się interpretować w kategoriach

przemieszczania materii mineralnej, a tym samym aktywności geomorficznej. Do pierwszej grupy cech o charakterze ciągłym zaliczono dwa elementy meteorologiczne, występujące codziennie o zróżnicowanym natężeniu:

- wzajemne relacje pomiędzy minimalną (T_{pmin}) i maksymalną (T_{pmax}) a średnią dobową temperaturą powietrza (T_{pd}),
- wzajemne relacje pomiędzy średnią dobową prędkością wiatru ($V_{dśr}$) a maksymalną dobową prędkością chwilową wiatru (V_{dmax}),

Do drugiej grupy cech o charakterze dyskretnym zaliczono dwa elementy meteorologiczne, które nie występują codziennie, lecz okresowo lub przypadkowo, a mianowicie:

- dobową sumę opadu atmosferycznego (P_d),
- dobowe usłonecznienie względne (U_{wd}).

Ponadto do analizy włączono dwie inne cechy, które wykazują ściśle powiązanie z elementami meteorologicznymi i wpływają w sposób niezwykle istotny na mobilność materii mineralnej, a tym samym na aktywność geomorficzną obszarów wolnych od lodu. Pierwsza z wybranych cech należy do grupy parametrów o charakterze ciągłym, natomiast druga – do dyskretnych. Są to:

- wzajemne relacje pomiędzy średnią dobową temperaturą gruntu na głębokościach 5 i 10 cm (T_{gd5-10}) a średnią dobową temperaturą gruntu na głębokościach poniżej 10 cm ($T_{gd20-100}$),
- grubość pokrywy śnieżnej (GPS_d), wartość dobowa.

Dane dla wymienionych parametrów pochodzą z bezpośrednich obserwacji meteorologicznych¹ na Stacji im. H. Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego w Szetlandach Południowych. Za jednostkę czasu w rozpatrywaniu zmienności geomorficznej obszarów wolnych od lodu w okolicach Zatoki Admiralicji wybrano dobę. Dla każdej z dób okresu od 1 kwietnia 1990 do 22 stycznia 1994 roku² zestawiono odpowiednie dane meteorologiczne³. Wybór doby jako przedziału czasowego dla analizowania aktywności geomorficznej był podyktowany również faktem, że podczas kolejnych lat obserwatorzy stosowali różne metody, przyrządy i częstość pomiarów⁴ poszczególnych elementów meteorologicznych. Wartość dobową zatem w pewnym sensie pozwala wyeliminować te niezamierzone, a wręcz wymuszone sytuacją organizacyjno-logistyczną różnice pomiarowe.

Przedstawiony wyżej wybór cech oraz niżej – kryteria ich kodowania, to właściwie jedyne elementy zaczerpnięte z oryginalnej metody Wosia (19977). Pozostałe procedury postępowania badawczego, a szczególnie metodyka grupowania (*k*-średnich i kumulacji) oraz interpretacji wyników są odmienne.

3. Kryteria kodowania

Podobnie jak przy wyborze elementów meteorologicznych i parametrów pochodnych, tak i wybór kryteriów do oceny tych cech jest kwestią indywidualną dla rozpatrywanego problemu. W niniejszej

¹ Dziękuję obserwatorom: dr P. Gonerze, mgr mgr A. Piechurze, G. Rachlewiczowi oraz G. Tomczakowi za zbieranie materiału dokumentacyjnego w odpowiednich okresach obserwacyjnych.

² Obserwacje prowadzono podczas XIV, XV, XVI i XVII Ekspedycji Antarktycznej PAN.

³ Dane meteorologiczne z Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego są własnością Zakładu Biologii Antarktycznej PAN.

⁴ Omówienia tego problemu dokonali szerzej Marsz i Styszyńska (2000).

pracy ocena oparta jest na zakwalifikowaniu określonego przedziału wartości obserwacji meteorologicznych do przyjętej czterostopniowej, umownej skali kodowej od 0 do 3, charakteryzującej natężenie lub wagę analizowanego elementu meteorologicznego w kategoriach ruchu materii mineralnej na badanym obszarze. Kody cyfrowe określono także w notacji jakościowej: brak, mała, średnia i duża efektywność obiegu materii mineralnej oraz aktywności geomorficznej. Dodatkowego objaśnienia wymaga sformułowanie "brak efektywności krążenia materii mineralnej i aktywności geomorficznej". Otóż słowo 'brak' jest pewnego rodzaju skrótem myślowym oznaczającym:

- nie występowanie danej cechy,
- unieruchamiający wpływ danej cechy na przemieszczenia materii mineralnej,
- nieistotne (mniejsze niż 'małe') znaczenie danej cechy dla analizowanych zjawisk i procesów mobilności materii mineralnej.

Temperatura powietrza, T_p

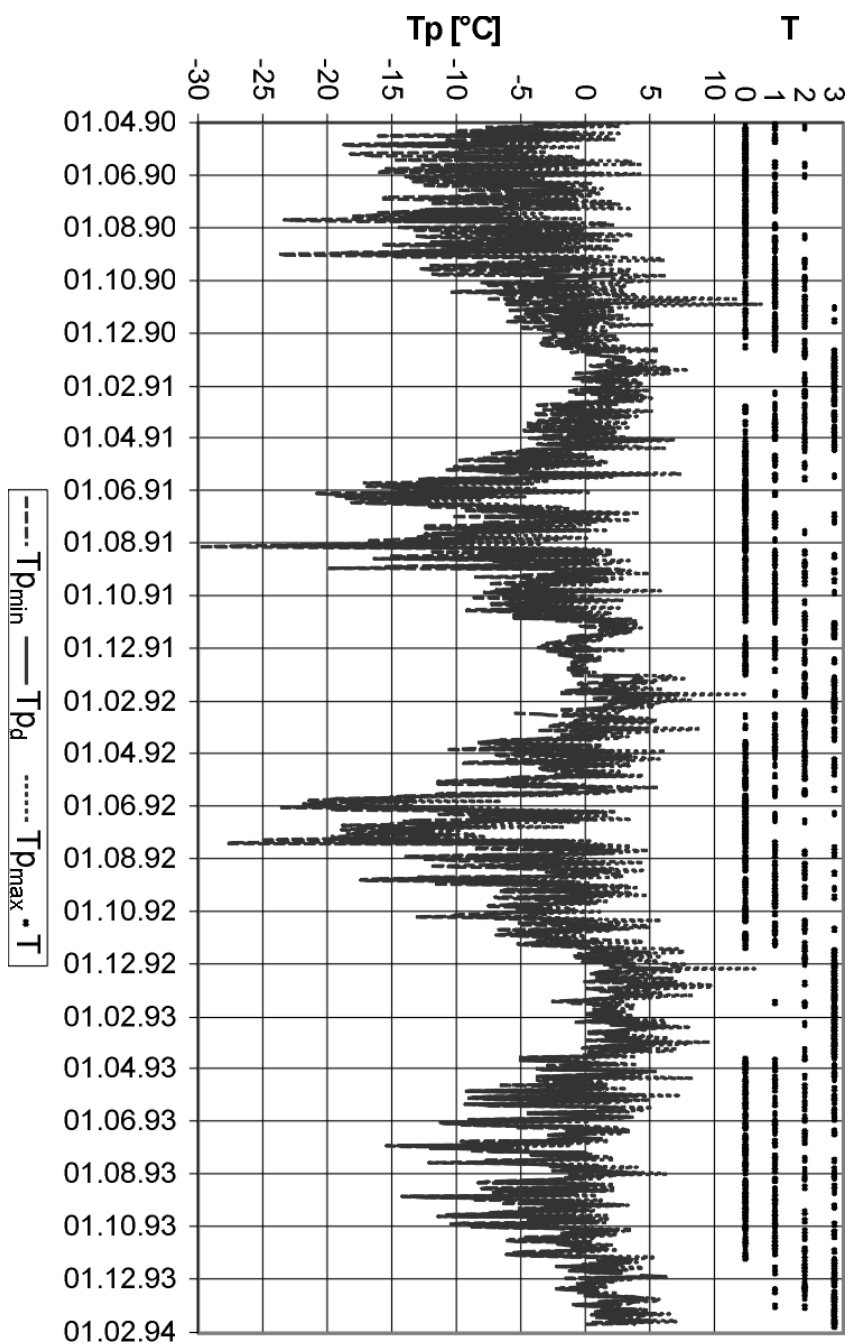
Podstawę klasyfikacji stanowią trzy dobowe miary temperatury powietrza i wzajemne relacje zachodzące między nimi, odzwierciedlające wartość i zmienność temperatury powietrza w ciągu doby. Są to:

- minimalna dobowa temperatura powietrza $T_{p_{min}}$,
- średnia dobowa temperatura powietrza (dies) T_{p_d} ,
- maksymalna dobowa temperatura powietrza $T_{p_{max}}$.

Charakterystyczną cechą Sztetlandów Południowych jest występowanie w każdym miesiącu ujemnych i dodatnich minimalnych i maksymalnych temperatur powietrza. W ocenie Marsza (2000b) blisko połowa (44.8%) dób w ciągu roku wykazuje przechodzenie temperatury powietrza przez 0°C . Można przyjąć, iż takie dobowe przebiegi termiki powietrza są właściwością subantarktycznej strefy morfoklimatycznej. W rozumieniu teorii progowej temperaturę powietrza równą 0°C można uznać zatem za zewnętrzną wartość progową dla mobilności materii mineralnej. Stąd w niniejszym opracowaniu przyjęto relacje temperatury powietrza względem 0°C w ciągu doby jako podstawę klasyfikacyjną (rys. 1). Termika powietrza w kategoriach geoeosystemowych jest odzwierciedleniem globalnego położenia obszaru badań i wynikającego z tego dopływu energii słonecznej⁵ (Kędziora 1999) oraz cyrkulacji atmosferycznej (Kejna 1994, 1999, Marsz 2000b, Marsz, Rakusa-Szuszczyński 1987). Z tego powodu temperatura powietrza może wpływać na stan materii mineralnej (zmrożenie podłoża lub jego brak) i jej mobilność lub brak tej mobilności.

W tabeli 1 przedstawiono cztery możliwe stany w jakich może znajdować się materia mineralna w różnych warunkach temperatury powietrza. Pierwszy kod o wartości $T = 0$ dotyczy sytuacji kiedy w przeciągu całej doby występuje ujemna temperatura powietrza (rys. 1), a więc występuje typ pogody mroźnej. Oznacza to, że całość masy materii mineralnej potencjalnie może być zmrożona i nie podlega żadnym przemieszczeniom. Kod ten zinterpretowano jako brak ruchu materii mineralnej. Ostatni kod o wartości $T = 3$ reprezentuje zgoła przeciwną sytuację, a mianowicie w przeciągu całej doby występuje dodatnia temperatura powietrza, a więc występuje typ pogody cieplej. Z punktu widzenia mobilności materii mineralnej oznacza to najlepsze warunki do jej przemieszczania we

⁵ Należy zaznaczyć, że Marsz (2000b) jest raczej sceptycznie ustosunkowany do takiego stwierdzenia w przypadkach warunków termicznych panujących na Stacji Arctowskiego.



Rys. 1. Przebieg dobowej temperatury powietrza (T_p): minimalnej (min), średniej (d) i maksymalnej (max) oraz układ kodów T (0, 1, 2, 3)

Fig. 1. Course of diurnal air temperature (T_p): minimum (min), average (d) and maximum (max) as well as pattern of codes T (0, 1, 2, 3)

Tabela 1 – Table 1

Klasyfikacja dobowych temperatur powietrza T_{pd}
 Classification of diurnal air temperature T_{pd}

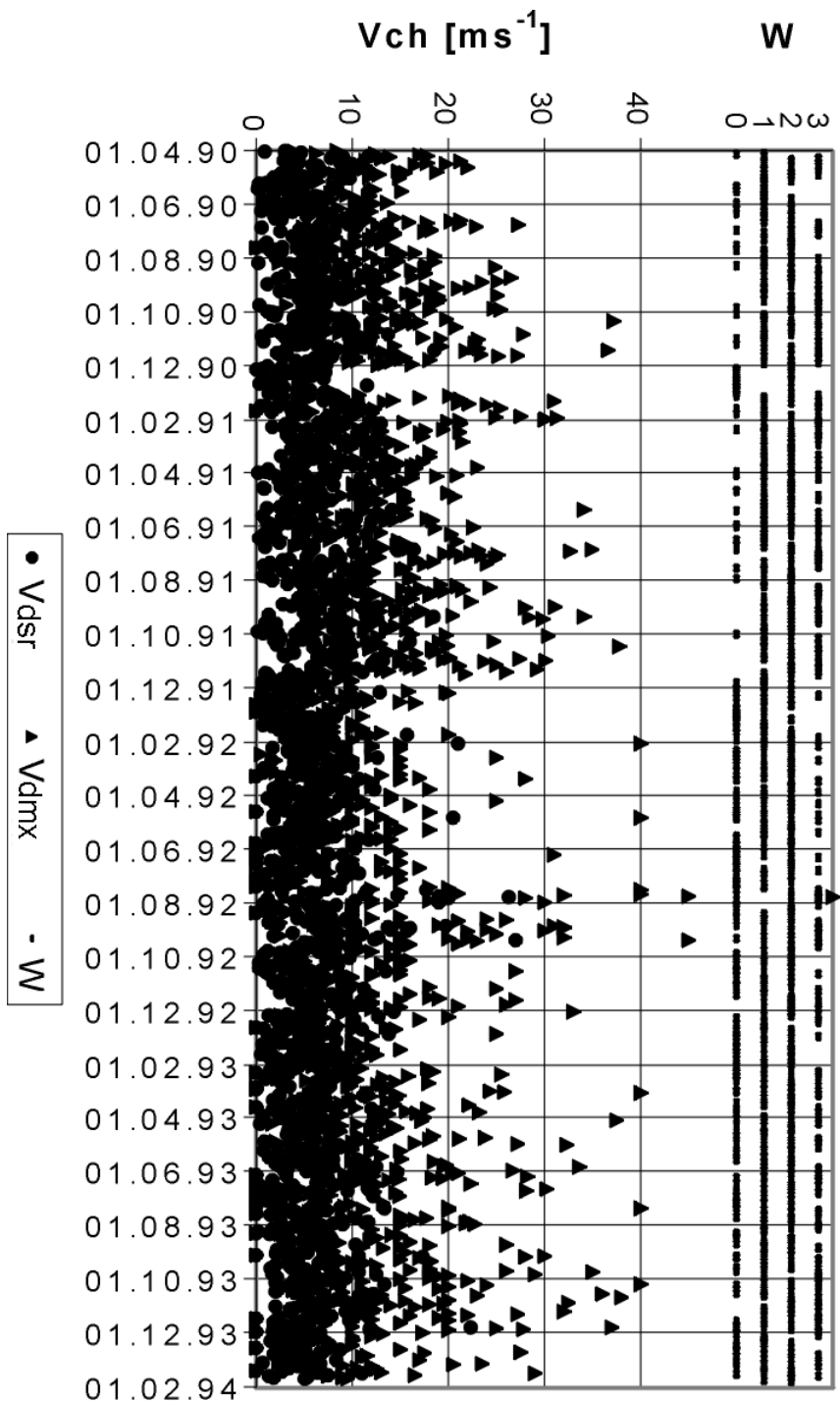
Kod Code T	Kryteria kodowe Code criteria [°C]	Efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity
0	$T_{pd} \leq 0, T_{pmax} \leq 0$	Brak / Lack
1	$T_{pd} \leq 0, T_{pmax} > 0$	Mała / Low
2	$T_{pd} > 0, T_{pmin} \leq 0$	Średnia / Medium
3	$T_{pd} > 0, T_{pmin} > 0$	Duża / High

wszelkich możliwych postaciach i środowiskach. Kod ten określa zatem dużą efektywność krążenia materii mineralnej. Pozostałe dwa kody określają typy pogód pośrednich, w których bądź to przeważają ujemne temperatury powietrza w ciągu doby, bądź temperatury dodatnie. Kody te odpowiednio zinterpretowano jako małą ($T = 1$) i średnią ($T = 2$) efektywność krążenia materii mineralnej.

Prędkość wiatru, V_{ch}

Zmienność, a przede wszystkim duża prędkość wiatru, obok przebiegu temperatury powietrza, jest kolejną istotną właściwością subantarktycznej strefy morfoklimatycznej. Jak zauważa Styszyńska (2000a) badany obszar leży w strefie nasilonej cyrkulacji atmosferycznej, która wpływa na dużą aktywność wiatru. Aktywność ta jest szczególnie spektakularna w okresie chłodnym kiedy występuje depozycja osadów niweo-eolicznych. Za podstawę klasyfikacyjną przyjęto dwa parametry wiatru, a mianowicie średnią dobową prędkość wiatru (uśrednienie mierzonych wartości w ciągu danej doby) oraz maksymalną dobową prędkość chwilową wiatru czyli najsilniejszy podmuch w ciągu doby (rys. 2). Dla prędkości wiatru w kontekście geomorficznym przyjęto dwie wartości progowe. Pierwsza wartość wynosi 5 ms^{-1} i wynika z faktu, że przy mniejszych prędkościach wiatru procesy eoliczne nie występują na skalę masową. Efektywne przemieszczanie cząstek pylistych i piaszczystych zachodzi dopiero przy większych dobowych prędkościach wiatru. O poglądzie tym przekonują badania Malina (1984) przeprowadzone w południowej części Ziemi Wiktorii w pozbawionych lodu suchych dolinach (Dry Valleys). Drugą wartość progową wyznaczono na 17 ms^{-1} i jest ona związana z dolną wartością graniczną dla prędkości wiatru sztormowego (Styszyńska 2000a). Pierwszą wartość progową zastosowano w odniesieniu do obydwóch rozpatrywanych prędkości wiatru $V_{dśr}$ i V_{dmax} , natomiast drugą – tylko do maksymalnej dobowej prędkości wiatru V_{dmax} . Prędkość wiatru o wartości progowej 5 ms^{-1} określa wartość graniczną dla możliwości przemieszczania się cząstek stałych. Z kolei maksymalne prędkości wiatru ($> 17 \text{ ms}^{-1}$) wskazują na warunki anemometryczne, w których możliwa jest dostawa wód morskich z Zatoki Admiralicji na obszary lądowe pozbawione lodu wokół zatoki. Taka interpretacja progowych prędkości wiatru jest zgodna ze skalą Beauforta. Wzajemne relacje zachodzące między tymi dwoma miarami prędkości wiatru określają niezbędne warunki dla mobilności cząstek mineralnych na obszarach wolnych od lodu.

Pierwsza para prędkości wiatru, o wartościach mniejszych lub równych 5 ms^{-1} (kod $W = 0$), określa warunki "ciszy" eolicznej, podczas której nie dochodzi do przemieszczania żadnych cząstek



Rys. 2. Przebieg dobowej prędkości chwilowej wiatru (Vch): średniej (d) i maksymalnej (max) oraz układ kodów W (0, 1, 2, 3)

Fig. 2. Course of diurnal moment speed of wind (Vch): average (d) and maximum (max) as well as pattern of codes

Tabela 2 – Table 2

Klasyfikacja dobowych prędkości wiatru Vd
Classification of diurnal wind speed Vd

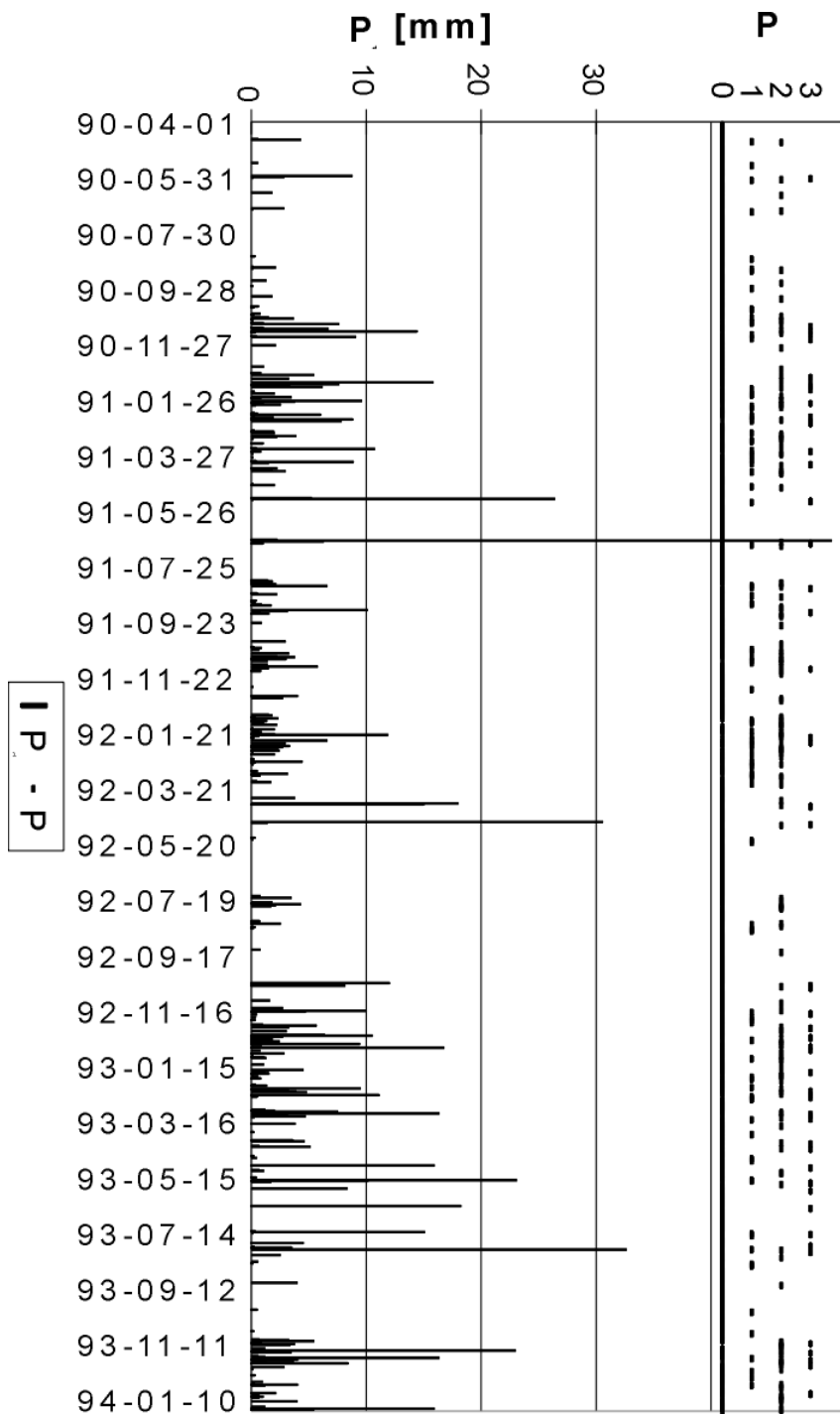
Kod Code W	Kryteria kodowe Code criteria [ms ⁻¹]	Efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity
0	Vd ≤ 5, Vdmax ≤ 5	Brak / Lack
1	Vd ≤ 5, Vdmax > 5	Mała / Low
2	Vd > 5, Vdmax < 17	Średnia / Medium
3	Vd > 5, Vdmax ≥ 17	Duża / High

materii mineralnej przez wiatr (rys. 2). Kolejne kryterium kodowe (W = 1) opisuje dobę, w czasie której zasadniczo nie ma sprzyjających warunków do wystąpienia procesów eolicznych, ale występują podmuchy wiatru, które mogą przemieszczać cząstki materii mineralnej przynajmniej na krótkie odległości. Przemieszczanie takie ma miejsce szczególnie na powierzchniach otwartych i nachylnych, na których podrywająca prędkość wiatru nie musi odpowiadać właściwościom fizycznym transportowanych ziaren mineralnych. Trzecie kryterium (W = 2) obejmuje doby, w których występuje długodystansowy masowy transport eoliczny cząstek stałych na wszystkich możliwych powierzchniach. Wreszcie czwarte, ostatnie kryterium (W = 3) obejmuje warunki sztormowe, w czasie których przemieszczane są nie tylko cząstki stałe, ale także aerozole zarówno z basenu Zatoki Admiralicji jak i z koryt potoków i zbiorników wodnych w obrębie oaz. Odpowiednio do interpretacji kryteriów kodowych w tabeli 2 zestawiono jakościowe przypisanie intensywności efektywności obiegu materii i mineralnej i odpowiadającej jej aktywności geomorficznej.

Opad atmosferyczny, P

Opad atmosferyczny jest elementem meteorologicznym o niezwykle nieregularnym rozkładzie dobowym, miesięcznym, sezonowym i rocznym. Współczynnik pluwiometryczny (za Kędziorą 1999) dla lat 1977-1998 waha się w bardzo szerokich granicach od 0.1 do 3.4, nie wykazując w żadnym z obserwowanych lat jakiegokolwiek charakterystycznego przebiegu (rys. 3). Jak podkreśla Marsz (2000c) sumy opadowe cechują się bardzo dużą zmiennością jak na strefę klimatyczną o odmianie oceanicznej, a nawet ultraoceanicznej (Marsz i Styszyńska 2000). Niewątpliwie tą cechą można uznać za kolejną właściwość subantarktycznej strefy morfoklimatycznej. Biorąc tę właściwość pod uwagę oraz brak badań podstawowych w zakresie generowania spływu powierzchniowego i procesów splukiwania, a także wpływu wilgoci na procesy wietrzeniowe w strefie subantarktycznej – dla analizowanego elementu meteorologicznego (dobowej sumy ciekłego⁶ opadu atmosferycznego P_d),

⁶ W okresie 04.1990-10.1992 rejestrowano osobno ciekłe i stałe opady atmosferyczne. Dla okresu 11.1992-01.1994 opady ciekłe określono w przybliżeniu na podstawie wstępnej zależności: $(Tpd \leq 0 \cup GPS > 0) \Rightarrow Pdc$, po czym uzyskane wyniki zweryfikowano analizując wszystkie pozostałe mierzone elementy meteorologiczne. Przyjęty algorytm okazał się stosunkowo efektywny, bowiem na 175 przypadków opadów atmosferycznych poprzez powyższą zależność zostało wyznaczonych 125 opadów ciekłych spełniających powyższe warunki, a po weryfikacji pozostało 120 prawdopodobnych opadów, co stanowi 96% całej populacji opadów wyznaczonych ww. algorytmem.



Rys. 3. Przebieg dobowej sumy opadów atmosferycznych (P_a) oraz układ kodów P (0, 1, 2, 3)

Fig. 3. Course of diurnal sum of rainfall (P_a) as well as pattern of codes P (0, 1, 2, 3)

przy wyznaczaniu jego wartości progowych posłużono się wskaźnikiem erozyjności opadu. Wskaźnik ten jest funkcją energii kinetycznej opadu (Józefaciuk i Józefaciuk 1996), która odpowiedzialna jest za siłę podrywającą cząstki stałe i włączanie ich do procesów przemieszczania. Zebrany materiał dokumentacyjny nie pozwala na obliczenie tego wskaźnika, ale niemniej daje podstawy do obliczenia bardzo uproszczonego, przybliżonego, aproksymującego wskaźnika erozyjności opadu zaproponowanego przez Fourniera (1960), a zmodyfikowanego przez Arnoldusa (1978):

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

gdzie:

R – roczny wskaźnik erozyjności opadów,

p – miesięczna suma opadu.

P – roczna suma opadu.

Obliczony wskaźnik okazał się wprawdzie nieprzydatny pod względem klasyfikacyjnym, ale jego składowe można wykorzystać i zastosować w analizie krążenia materii mineralnej i ocenie aktywności geomorficznej. Składowymi tymi są wartości miesięczne obliczone w oparciu o miesięczne i roczne sumy opadu atmosferycznego zmierzone na Stacji Arctowskiego w okresie 1977-1988 (Marsz i Styszyńska 2000, tab. 11.2). Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 3.

Jakkolwiek materiał dokumentacyjny tego opracowania dotyczy okresu 04.1990 - 01.1994, to jednak analiza całego dostępnego ciągu obserwacyjnego opadów atmosferycznych z lat 1977-98 (Marsz 2000c) umożliwia zobiektywizowanie uzyskanych wniosków. Analiza tabeli 3 pozwala wyznaczyć dwie wartości progowe dla opadów atmosferycznych istotne z punktu widzenia analizy geomorficznej. Przyjęto założenie, że maksymalna wartość miesięczna dla wartości minimalnych z wielolecia może wskazywać na górną granicę sumy dobowej, która może mieć żadne lub niewielkie znaczenie dla procesów przemieszczania materii mineralnej, a szczególnie cząstek stałych. Natomiast minimalna wartość miesięczna dla wartości maksymalnych z wielolecia może wyznaczać dolną granicę dla sum dobowych, które mogą być efektywne w kontekście mobilności materii mineralnej. Odpowiednio, obliczone wartości progowe wynoszą 0.6 i 4.4 mm (tab. 3). Wartości pośrednie pomiędzy 0.6 a 4.4 mm dotyczą opadów atmosferycznych, które mogą mieć znaczenie dla krążenia cząstek stałych pod warunkiem spełnienia innych warunków sprzyjających ich przemieszczaniu, np. opady długotrwałe, duże nachylenie stoku itp. Wszystkie kryteria kodowe dla opadów atmosferycznych zestawiono w tabeli 4.

Pierwsze oznaczenie kodowe ($P = 0$) dotyczy stwierdzenia braku opadu w przeciągu całej doby (rys. 3), a co z tego równocześnie wynika – braku krążenia materii mineralnej spowodowanej obecnością "świeżego" opadu. Drugi kod ($P = 1$) obejmuje doby z sumą opadów od śladu opadu (0.1 mm) do pierwszej wartości progowej 0.6 mm. Kod ten odzwierciedla niewielką intensywność krążenia materii i ma zasadnicze znaczenie dla procesów wietrzeniowych. Kolejne kryterium kodowe ($P = 2$) obejmuje przedział sum dobowych od 0.6 mm do drugiej wartości progowej, a więc do 4.4 mm. Przedział ten odpowiada średniej efektywności krążenia, polegającej przede wszystkim na transferze cząstek wody w gruncie oraz przemieszczaniu cząstek stałych w sprzyjających warunkach. Ostatnie kryterium kodowe ($P = 3$) dotyczy najwyższych opadów atmosferycznych (powyżej 4.4 mm), które w

sprzyjających warunkach mogą nawet generować splywy powierzchniowe i splukiwanie, będące świadectwem znaczących przemieszczeń ziaren mineralnych i zmian morfologicznych powierzchni ziemi.

Tabela 3 – Table 3

Wartości miesięczne^{*)} [mm] składników wskaźnika erozyjności opadów (wzór wg Arnoldusa 1978)
Monthly values [mm] of rainfall factor components (formula acc. Arnoldus 1978)

Rok Year	Miesiące – Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1977	-	-	-	5.2	22.8	2.1	0.2	1.9	17.6	12.0	8.7	10.4
1978	2.5	9.3	13.7	7.9	3.4	10.4	0.4	0.4	4.0	2.1	0.2	5.2
1979	1.2	8.9	25.8	21.5	0.5	0.7	6.1	1.9	5.6	1.5	1.4	0.2
1980	2.4	10.7	1.9	1.5	3.8	1.2	1.9	4.2	3.2	9.2	4.2	5.0
1981	1.2	2.1	0.6	7.3	0.5	1.7	0.9	1.1	4.1	8.0	35.7	11.6
1982	0.5	12.1	42.8	12.1	5.0	3.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.5	2.8
1983	9.4	1.8	13.1	0.4	6.5	2.3	5.5	1.9	9.6	1.3	3.8	1.2
1984	2.0	26.5	9.1	6.9	0.6	1.4	-	-	-	-	-	2.6
1985	1.5	14.0	1.8	17.0	0.2	0.5	3.2	1.7	20.3	0.9	0.4	7.4
1986	3.1	2.6	8.5	2.5	1.0	13.3	5.6	2.3	2.2	1.7	1.1	1.3
1987	2.5	6.8	5.3	4.1	2.9	1.5	0.7	0.8	0.5	0.6	16.0	3.8
1988	1.1	6.2	5.0	1.7	1.8	8.3	2.8	0.1	1.8	5.1	1.4	1.8
1989	0.2	11.3	13.3	0.6	17.8	4.7	7.3	0.6	8.5	4.3	1.5	0.8
1990	8.0	-	-	3.1	2.5	2.0	1.8	2.2	0.3	2.5	9.3	0.7
1991	8.5	4.8	1.6	2.7	4.9	21.0	0.9	4.4	0.9	1.2	1.1	0.2
1992	3.4	1.7	0.8	16.6	0.2	0.1	1.5	0.5	4.1	13.2	1.4	10.5
1993	0.7	3.0	4.1	1.9	10.8	1.1	2.0	4.3	3.2	0.1	13.8	1.2
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9
1995	2.5	1.9	5.9	8.7	0.9	0.8	9.5	1.8	2.1	13.1	1.9	1.3
1996	4.9	2.2	4.2	1.0	0.5	1.2	8.2	2.4	7.5	3.7	5.1	4.1
1997	4.1	3.0	5.4	2.6	1.0	2.3	17.7	2.2	0.1	4.2	0.5	0.0
1998	3.2	0.2	5.5	5.9	0.1	2.4	14.0	3.4	20.4	3.7	7.4	1.7
Min	0.2	0.2	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0
Max	9.4	26.5	42.8	21.5	22.8	21.0	17.7	4.4	20.4	13.2	35.7	11.6

^{*)} dla lat zaznaczonych pochyląm drukim Marsz (2000c) ma różne zastrzeżenia merytoryczne odnośnie jakości danych

Tabela 4 – Table 4

Klasyfikacja dobowych sum opadu atmosferycznego P_d
Classification of diurnal rainfall P_d

Kod Code P	Kryteria kodowe Code criteria [mm]	Efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity
0	$P_d < 0.1$	Brak / Lack
1	$P_d \geq 0.1$	Mała / Low
2	$P_d > 0.6$	Średnia / Medium
3	$P_d > 4.4$	Duża / High

Usłonecznienie, U

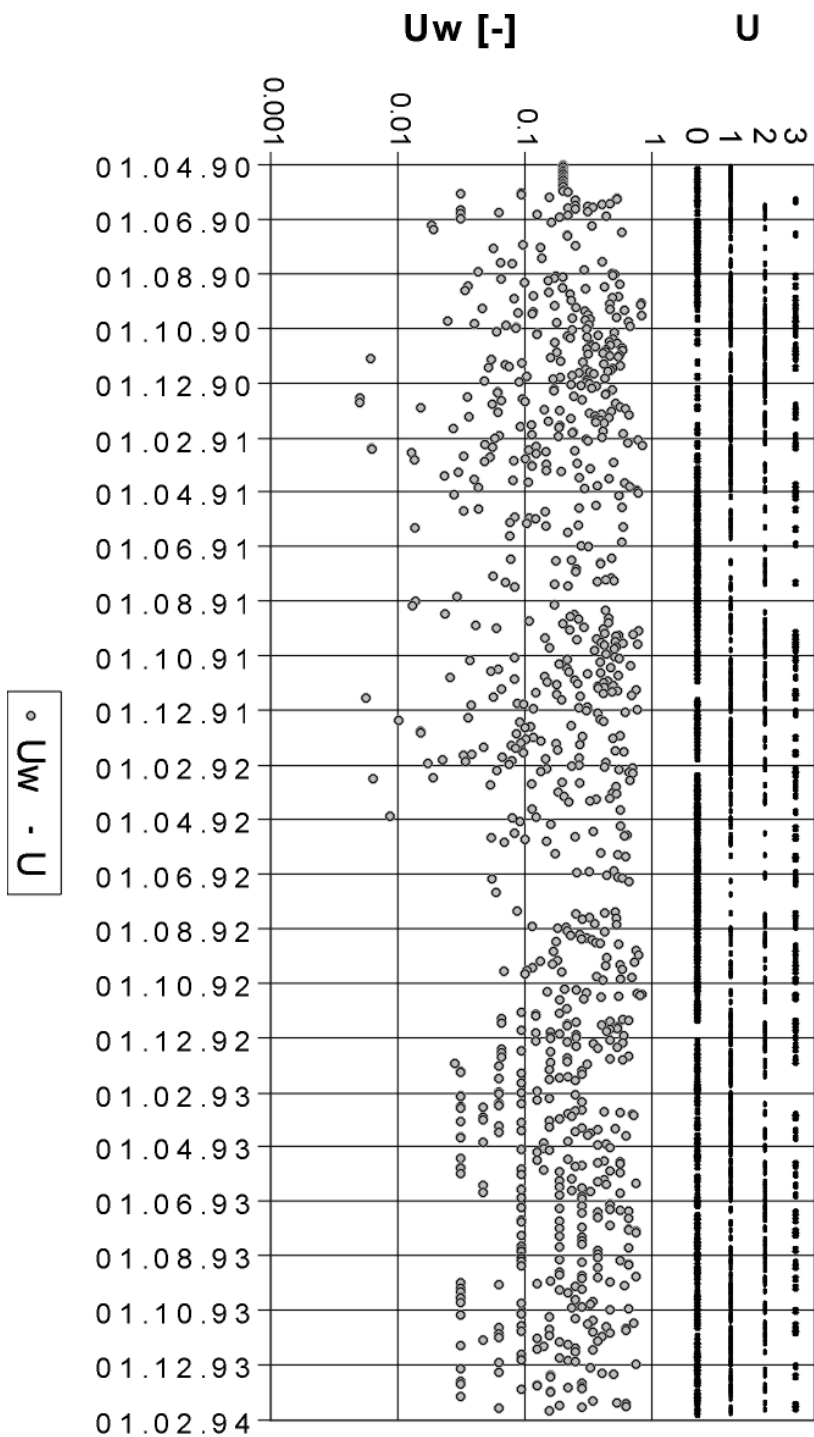
Usłonecznienie jest tym elementem meteorologicznym, który bodaj najsilniej jest uzależniony od położenia miejsca jego pomiaru w skali globalnej. Miesięczna i dobową wielkość usłonecznienia uzależniona jest od szerokości geograficznej, a co za tym idzie od długości dnia (Styszyńska 2000b) i związanej z nią dostawy promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi. Te ogólne uwarunkowania modyfikowane są poprzez czynniki regionalne (cyrkulacja atmosferyczna) i lokalne (zachmurzenie, rzeźba terenu). Usłonecznienie rzeczywiste nie jest jednak miarą przydatną w kategoriach geomorficznych, bowiem jest zmienne w ciągu roku przez co nie jest możliwe bezpośrednio porównywanie tego elementu właśnie w dłuższych skalach czasowych, np. rocznej. Stąd zdecydowano się na wybór dobowego usłonecznienia względnego U_{wd} , będącego miarą usłonecznienia rzeczywistego w stosunku do potencjalnej długości dnia (Kędziora 1999). W ten sposób zagwarantowano jednakowe rozpatrywanie dostawy energii promienistej do powierzchni ziemi niezależnie od umiejscowienia doby w ciągu roku. Parametr ten został obliczony dla okresu od czerwca 1990 do października 1992⁷ (rys. 4), a więc nie obejmuje pełnego zakresu czasowego niniejszego opracowania, tym niemniej blisko 2.5-letni ciąg pomiarowy pozwolił na poznanie roli promieniowania słonecznego w przemieszczaniu materii mineralnej. Podstawę klasyfikacyjną oparto na statystyce ciągu obserwacyjnego. Dobowe usłonecznienie względne waha się w granicach od 0.005 do 0.84, natomiast wartość średnia dla dni z insolacją wynosi 0.28, a odchylenie standardowe 0.21. W tej sytuacji pierwszą wartość progową ustalono na 0.25 odpowiadającą $\frac{1}{4}$ długości dnia z usłonecznieniem. Przy wyborze drugiej wartości progowej przyjęto średnie dobowe usłonecznienie względne powiększone o jedną wartość odchylenia standardowego czyli w zaokrągleniu 0.5, odpowiadające zatem połowie dnia z promieniowaniem słonecznym. Kryteria kodowe zebrano w tabeli 5.

Tabela 5 – Table 5

Klasyfikacja dobowego usłonecznienia względnego U_{wd}
Classification of diurnal relative sunshine U_{wd}

Kod Code U	Kryteria kodowe Code criteria [-]	Efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity
0	$U_{wd} = 0$	Brak / Lack
1	$U_{wd} > 0$	Mała / Low
2	$U_{wd} > 0.25$	Średnia / Medium
3	$U_{wd} \geq 0.5$	Duża / High

⁷ Tylko w tym okresie prowadzono obserwacje usłonecznienia. Dla pozostałych okresów, tzn. 05.1990 oraz 11.1992-01.1994 określono doby, w czasie których warunki meteorologiczne potencjalnie nie sprzyjały wystąpieniu usłonecznienia. Najpierw zastosowano zależność $U_d = 0 \Leftrightarrow (Z_{dmin} \cup Z_{dśr} \cup Z_{dmax} = 8,0)$. Stosując powyższy algorytm zostało wyznaczonych 171 dni bez usłonecznienia. Następnie poprzez chronologiczną analizę gradientu temperatury gruntu T_g na głębokościach 5 i 10 cm oraz pozostałych mierzonych elementów meteorologicznych zweryfikowano możliwość braku usłonecznienia w danej dobie. Na 479 analizowanych dni 141 zakwalifikowano jako takie, które potencjalnie nie powinny mieć dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego. Natomiast dla dób, w czasie których były potencjalne warunki do wystąpienia promieniowania słonecznego posłużono się przybliżeniem oszacowania usłonecznienia jako 75% stopnia zachmurzenia mniejszego od 8, które przeliczono na czas trwania usłonecznienia.



Ryc. 4. Przebieg dobowego usłonecznienia względnego (U_w) oraz układ kodów U (0, 1, 2, 3)

Fig. 4. Course of diurnal relative sunshine (U_w) as well as pattern of codes U (0, 1, 2, 3)

Pierwsze kryterium kodowe ($U = 0$) oznacza, że w danej dobie nie wystąpi dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego (rys. 4) i tym samym promieniowanie nie mogło oddziaływać na mobilność materii mineralnej. Pozostałe trzy kryteria oznaczają odcinki czasowe dnia, w czasie których wystąpiło bezpośrednio promieniowanie słoneczne. Są to kolejno: od 0 do $1/4$ ($U = 1$), od $1/4$ do $1/2$ ($U = 2$) i powyżej $1/2$ długości dnia ($U = 3$). Czas trwania usłonecznienia wpływa na procesy krążenia materii mineralnej, ale należy zaznaczyć, że wpływ ten pod względem jakościowym może być różny w różnych porach roku.

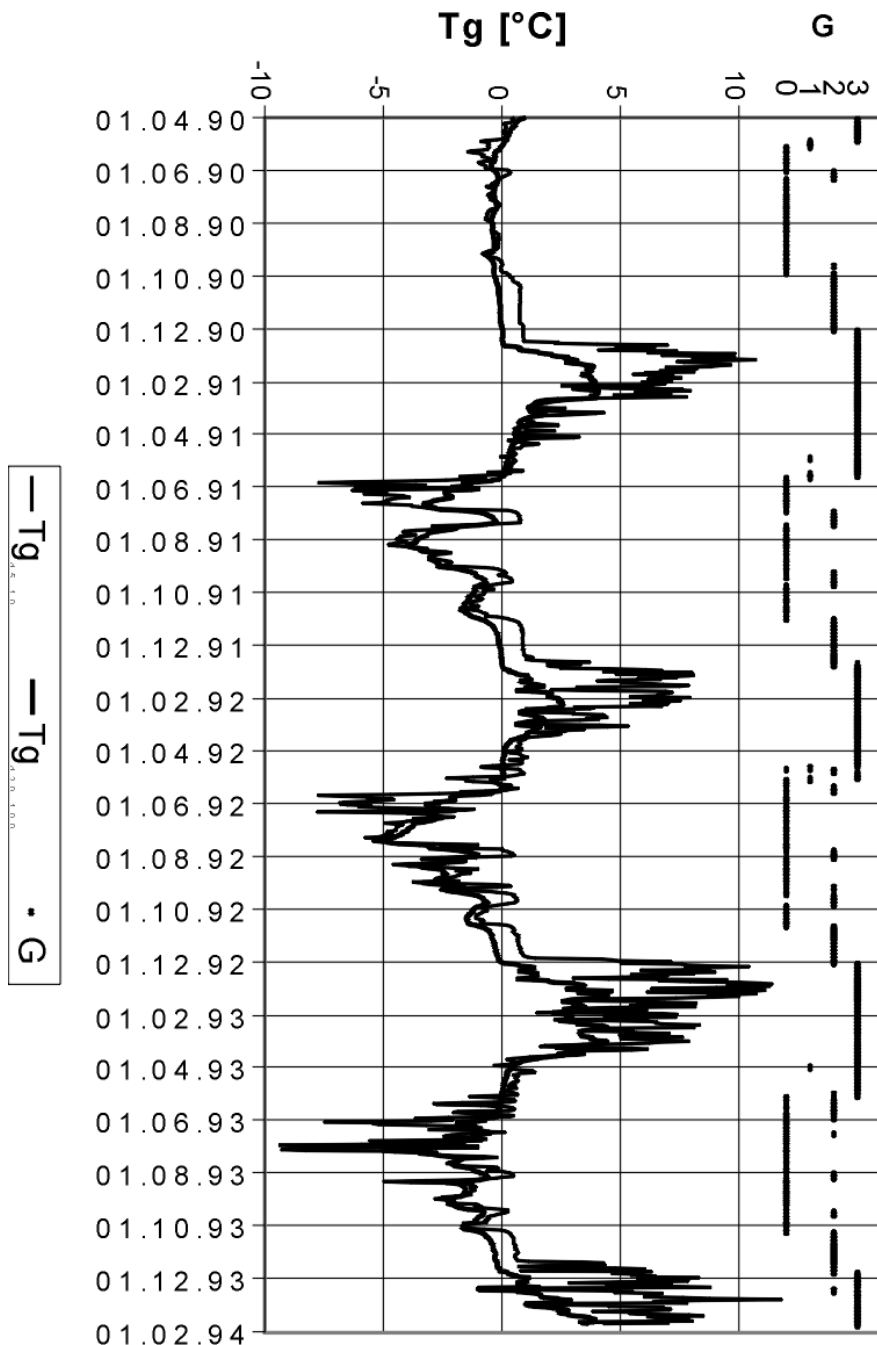
Temperatura gruntu, T_g

Pomiary temperatury gruntu na Stacji Arctowskiego wzbudzają wiele zastrzeżeń tak metodycznych, jak i merytorycznych. Część z tych uwag przedstawił Kruszewski (2000). Panuje powszechne przekonanie, że temperatura gruntu pozostaje w zależności liniowej do temperatury powietrza. Kruszewski (2000) podaje, że współczynniki korelacji liniowej wahają się od 0.66 do 0.80 dla temperatury gruntu na głębokości 10 cm. Analiza temperatury gruntu na 5 głębokościach w okresie 04.1990-01.1994 wskazuje, że zależność ta nie jest liniowa i ma bardziej złożony charakter. Funkcją najlepiej opisującą te zależności jest nieliniowa regresja segmentowa z punktem przelamania oscylującym wokół 0°C w stosunkowo wąskim zakresie do ok. 0.25°C dla wszystkich głębokości, a współczynniki korelacji mieszczą się w zakresie od 0.81 do 0.87. Tak niskie współczynniki korelacji regresji segmentowej są efektem mało zróżnicowanej temperatury gruntu w czasie występowania pokrywy śnieżnej oraz zróżnicowanych ujemnych temperatur gruntu w okresie bez pokrywy śnieżnej. Analiza korelacyjna pozwoliła także wykryć najsilniejsze związki pomiędzy temperaturą gruntu na głębokości 5 i 10 cm, dla których współczynnik korelacji wynosi 0,98. Postanowiono zatem jako podstawę klasyfikacyjną przyjęć dwa parametry wskaźnikowe temperatury gruntu, a mianowicie średnie temperatury gruntu z głębokości 5 i 10 cm oraz 20, 50 i 100 cm (rys. 5). Wskaźniki te reprezentują relacje pomiędzy wierzchnią warstwą gruntu a głębszym podłożem, które wolniej reaguje na zmiany temperatury powietrza. Podobnie jak w przypadku temperatury powietrza (T_p), tak i w tej sytuacji przyjęto relacje między wyznaczonymi wskaźnikami termicznymi gruntu względem 0°C w ciągu doby.

Tabela 6 – Table 6

Klasyfikacja dobowych wskaźników temperatury gruntu T_g
Classification of diurnal ground temperature T_g

Kod Code G	Kryteria kodowe Code criteria [$^\circ\text{C}$]	Efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity
0	$T_{g_{d5-10}} \leq 0, T_{g_{d20-100}} \leq 0$	Brak / Lack
1	$T_{g_{d5-10}} \leq 0, T_{g_{d20-100}} > 0$	Mała / Low
2	$T_{g_{d5-10}} > 0, T_{g_{d20-100}} \leq 0$	Średnia / Medium
3	$T_{g_{d5-10}} > 0, T_{g_{d20-100}} > 0$	Duża / High



Rys. 5. Przebieg dobowej temperatury gruntu (T_g): na głębokości 5 i 10 cm (d5-10) i 20, 50 i 100 cm (d20-100) oraz układ kodów G (0, 1, 2, 3)

Fig. 5. Course of diurnal ground temperature (T_g): at depth 5 and 10 cm (d5-10) and 20, 50 and 100 cm (d20-100) as well as pattern of codes G (0, 1, 2, 3)

Pierwsze kryterium kodowe ($G = 0$) dotyczy całkowitego przemarznięcia mierzonej miąższości gruntu, tj. na głębokość 1 m (rys. 5). Przemarzenie gruntu powoduje wstrzymanie mobilności cząstek stałych i substancji rozpuszczonych. Drugie kryterium ($G = 1$) obejmuje sytuację, gdy powierzchniowa warstwa gruntu jest przemarznięta, natomiast w głębszym podłożu występują temperatury dodatnie. Kolejne kryterium ($G = 2$) obrazuje sytuację odwrotną, tzn. głębsze podłoże jest przemarznięte, a w wierzchniej warstwie gruntu notowane są temperatury dodatnie. I wreszcie ostatnie kryterium ($G = 3$) wyznaczone jest dla okresu dodatnich temperatur w całej miąższości mierzonego gruntu.

Grubość pokrywy śnieżnej, GPS

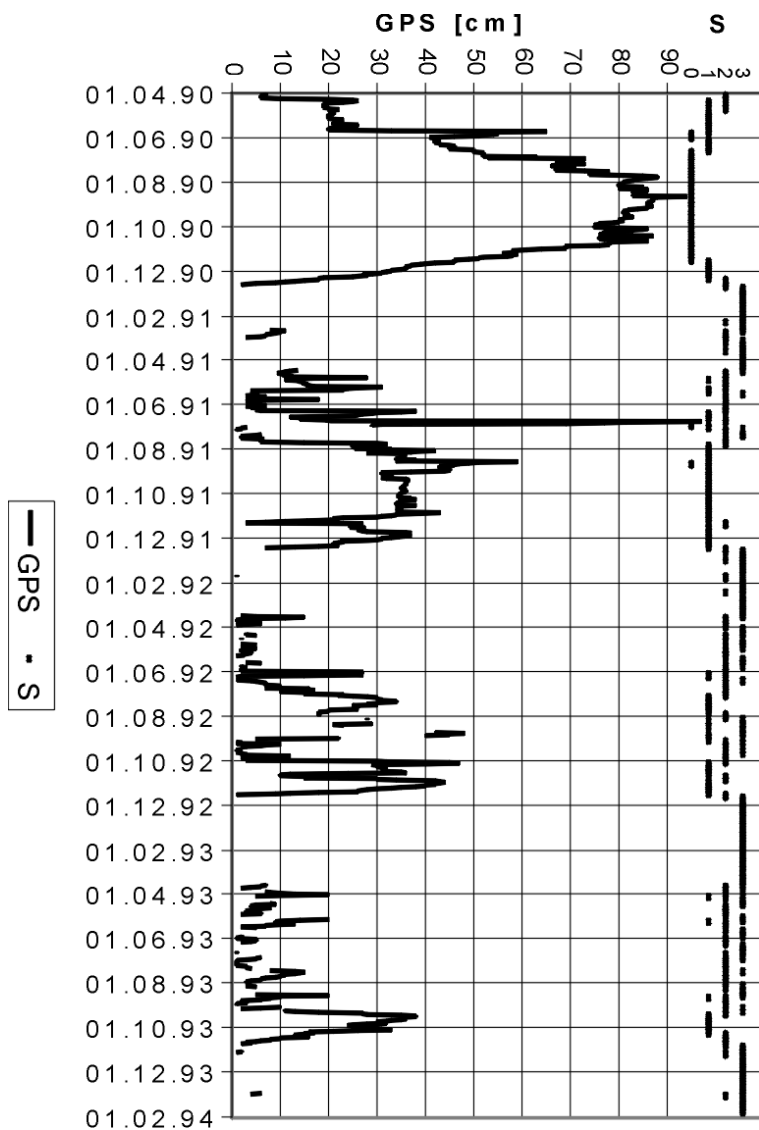
Pokrywa śnieżna jest efektem stałych opadów atmosferycznych i pełni rolę konserwującą, ochronną w stosunku do powierzchni ziemi poddawanej procesom egzogenicznym. Jest barierą w przenoszeniu energii cieplnej pomiędzy atmosferą a podłożem i na odwrót (Kędziora 1999), co powoduje, że w trakcie jej występowania zostają unieruchomione, bądź bardzo znacznie ograniczone, procesy przenoszenia materii mineralnej. Pokrywa śnieżna pełni ponadto rolę "magazynu" dla materii mineralnej dostarczanej supraniewalnie, która z biegiem czasu przechodzi etapy metamorfozy w materię inniwalną i subniwalną. Podstawą klasyfikacji pokrywy śnieżnej jest jej brak lub obecność, przy czym w przypadku obecności pokrywy śnieżnej przyjęto dwie wartości progowe: 20 i 50 cm (rys. 6). Wyboru tych wartości dokonano w oparciu o analizę 12 serii zdjęć monitoringowych zanikania pokrywy śnieżnej w okresie od 27 września 1990 do 1 stycznia 1991. Pierwsza z wymienionych wartości progowych wyznacza górną granicę miąższości pokrywy śnieżnej, która jest krótkotrwałą, nieciągłą i zazwyczaj wcale albo mało zmetamorfizowana w sensie śnieżno-lodowym. Z kolei druga wartość progowa określa dolną granicę miąższości pokrywy śnieżnej, która z zasady jest pokrywą długotrwałą, posiadającą cechy przemian krystalizacyjnych i z tym związanych przemian materii mineralnej. Ponadto pokrywa śnieżna o miąższości 50 cm i więcej mierzona na równinie stacyjnej odpowiada zwartej pokrywie śnieżnej na wszystkich lub prawie wszystkich powierzchniach płaskich i nachylonych w obrębie obszarów wolnych od lodu. Kryteria kodowe klasyfikacji miąższości pokrywy śnieżnej zawiera tabela 7.

Tabela 7 – Table 7

Klasyfikacja dobowej grubości pokrywy śnieżnej GPS_d

Classification of diurnal thickness of snow cover GPS_d

Kod Code S	Kryteria kodowe Code criteria [cm]	Efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity
0	$GPS_d \geq 50$	Brak / Lack
1	$50 < GPS_d \leq 20$	Mała / Low
2	$20 < GPS_d > 0$	Średnia / Medium
3	$GPS_d = 0$	Duża / High



Rys. 6. Przebieg dobowej grubości pokrywy śnieżnej (GPS) oraz układ kodów S (0, 1, 2, 3)
 Fig. 6. Course of diurnal thickness of snow cover (GPS) as well as pattern of codes S (0, 1, 2, 3)

Kryterium kodowe określające grubość pokrywy śnieżnej na 50 cm i więcej ($S = 0$) odpowiada okresowi stagnacji materii mineralnej (rys. 6). Drugie kryterium ($S = 1$) oznacza małą efektywność obiegu materii mineralnej wynikającą ze stosunkowo miększej pokrywy śnieżnej, jednakże nie tak silnie zwartej jak przy poprzednim kryterium kodowym. Brak pokrywy śnieżnej widoczny jest szczególnie na wyjątkowo stromych czy pionowych fragmentach stoków. Przedostatnie kryterium ($S = 2$) dotyczy pokrywy śnieżnej, która nie jest w stanie powstrzymać procesy przemieszczania materii mineralnej na obszarach wolnych od lodu. Brak pokrywy śnieżnej ($S = 3$), nie uwzględniając innych czynników, sprzyja mobilności materii mineralnej oraz produktywności geomorficznej.

4. Grupowanie

Z punktu widzenia funkcjonowania geosystemu jednym z głównych kanonów jest logika oparta na relacji przyczyna-skutek, która zobowiązuje do traktowania zbioru danych w sposób ciągły, w układzie chronologicznym. Dla oryginalnego zbioru danych dobowych obserwacji przypisano najpierw wartości kodowe według zasad sformułowanych powyżej przez poszczególne kryteria (tab. 8). Dla każdej cechy utworzono odrębny ciąg kodów, charakteryzujący kolejne doby. W efekcie uzyskano szereg 6 cyfr opisujących zakodowane informacje o każdej cesze (w tabeli 8 są to wiersze dla pojedynczej doby). Na tej drodze osiągnięto 6 rozdzielnych, standaryzowanych szeregów kodów dla każdego analizowanego parametru oddzielnie (kolumny T, W, P, U, G i S z pogrubioną czcionką w tabeli 8). Takie podejście umożliwia wykrycie indywidualnych cech każdego z parametrów i ich wpływu na końcowy podział na okresy o zróżnicowanej aktywności geomorficznej.

Procedury podziału zbioru danych na grupy mogą odbywać się za pomocą wielu technik statystycznych z zakresu analizy skupień. Ze względu na dużą ilość opracowywanych danych (przypadków) w niniejszej pracy zastosowano grupowanie metodą *k*-średnich (biblioteka Statistica - Statsoft, Inc., 2000). Metoda ta polega na utworzeniu *k* różnych możliwie odmiennych grup danych, charakteryzowanych wartościami średnimi dla większości, jeśli nie dla wszystkich wymiarów wprowadzonych do analizy (Statsoft, Inc., 2000).

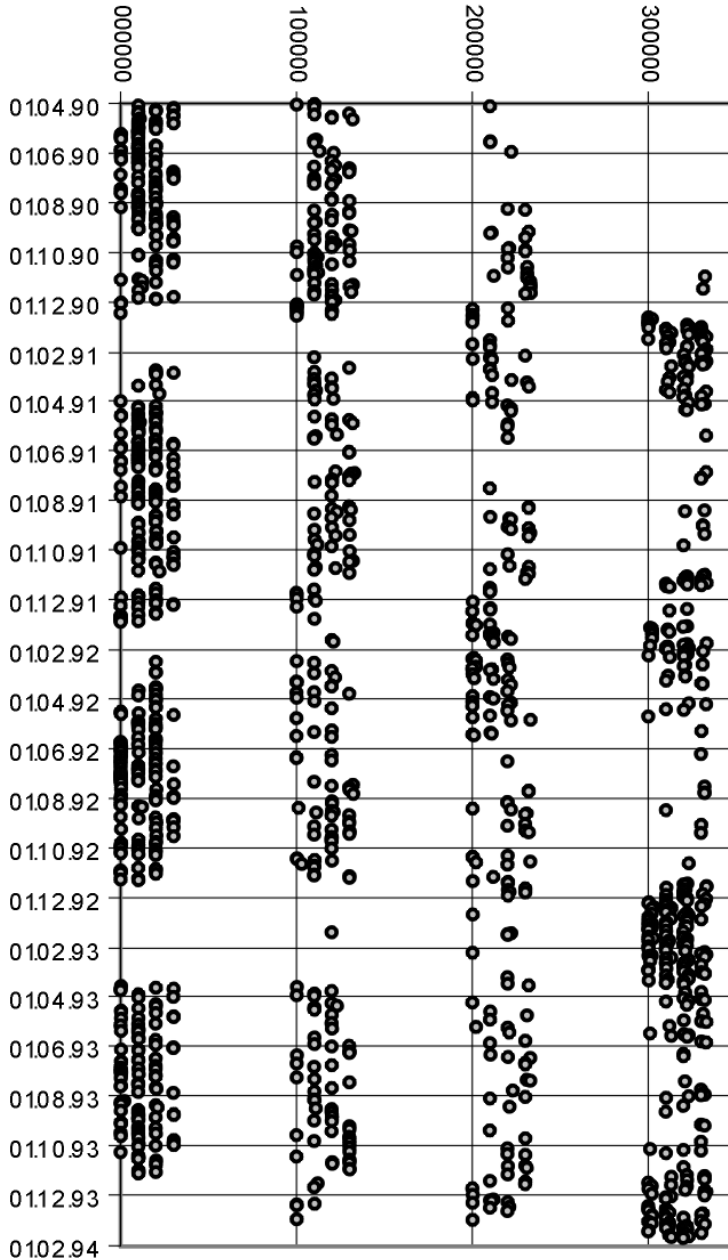
W metodzie tej jedyną problematyczną kwestią jest ilość grup, na które należy podzielić analizowany ciąg danych. Algorytm *k*-średnich nie oblicza ich sam, lecz wymaga podania tej ilości. Przy wyborze ilości grup kierowano się przesłankami geomorficznymi, a mianowicie małą (1), średnią (2) i dużą (3) aktywnością geomorficzną. Zrezygnowano z opcji 'braku' tej aktywności (0), wychodząc z założenia, że przy zintegrowanym oddziaływaniu analizowanych cech na geosystem nie ma możliwości całkowitego zastoj w geosystemie. Szersze uzasadnienie tego założenia przedstawiono dalej. Wyniki grupowania przedstawiono na rys. 7, a charakterystyki statystyczne poszczególnych grup zestawiono w tabeli 9.

Metoda *k*-średnich nie porządkuje ciągu danych pod względem chronologicznym. Dlatego dokonano podziału ciągu kodów uzyskanych trzech grup na okresy, które są jednorodne z punktu widzenia wszystkich analizowanych cech. Jako podstawę kumulacji przyjęto ruchomą wartość modalną (występującą najczęściej) dla okresu 7 dni. Długość tego okresu została dobrana tak, aby mogła odzwierciedlać największe z możliwych zróżnicowań analizowanych parametrów. Przy przyjętych trzech kodach efektywności obiegu materii mineralnej można założyć, że największe zróżnicowanie będzie zachodzić wówczas, gdy każdego kolejnego dnia wystąpi inny kod w okresie 3 dni. Stąd do analizy wzięto 3 dni poprzedzające i 3 dni następujące po bieżącym analizowanym dniem, co razem daje okres 7-dniowy, np.:

<i>Numer kolejnego dnia:</i>						
1	2	3	4	5	6	7
<i>Numer kodu dla kolejnego dnia:</i>						
1	2	3	X	1	2	3

przy czym $X = 1, 2$ lub 3 . Zatem wartość modalna będzie równa kodowi odpowiadającemu w tym przypadku X , a ta z kolei odpowiada analizowanej dobie nr 4.

Dobowe typy efektywności obiegu materii mineralnej
i aktywności geomorficznej
*Diurnal types of efficiency of mineral matter circulation
and geomorphic activity*



Rys. 7. Przebieg dobowych typów (000000-333333) efektywności obiegu materii mineralnej i aktywności geomorficznej

Fig. 7. Course of diurnal types (000000-333333) of efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity

Tabela 8 – Table 8

Przypisanie kodów dla wybranych parametrów dobowych; wybrane przykłady; Stacja Arctowski
 Attribution of code for chosen diurnal parameters; chosen examples; Arctowski Station

Data ^{*)} Date ^{*)}	Tp _{min}	Tp _d	Tp _{max}	T	Vd _{sr}	Wd _{max}	W	Pd		Uw _d		Tg _{d5}	Tg _{d10}	Tg _{d20}	Tg _{d50}	Tg _{d100}	GPS _d		
								[mm]	P	[h]	U						[°C]	G	S
1	-6.7	-5.1	-2.5	0	1.2	2.5	0	1.5	2	6.1	2	1.8	-0.1	0.1	0.1	-0.1	3	30.0	1
2	-2.3	-0.8	0.5	1	1.8	7.2	1	1.8	2	4.4	1	1.6	-0.1	0.1	0.1	-0.1	3	29.0	1
3	-1.0	0.9	3.4	2	0.0	0.0	0		0	5.3	2	0.7	-0.5	0.1	0.1	-0.1	3	27.0	1
4	2.4	2.6	3.4	3	6.6	13.2	2	0.3	1	7.0	2	0.1	-0.9	0.1	0.2	-0.1	1	26.0	1
5	0.4	1.8	3.0	3	6.0	9.8	2	2.3	2		0	-0.8	-1.0	0.1	0.1	-0.1	1	25.5	1
6	0.4	0.8	1.6	3	0.0	0.0	0	0.4	1	6.5	2	-0.2	-1.3	0.0	0.1	-0.1	0	20.0	1
7	-1.5	-1.3	0.4	1	0.0	0.0	0	0.1	1	3.3	1	1.2	-0.8	0.0	0.1	-0.1	2	12.0	2
8	-1.8	-1.1	-0.2	0	2.7	9.2	1	1.3	2	9.5	2	1.7	-0.3	0.0	0.1	-0.1	2	14.5	2
9	1.0	1.5	2.3	3	8.8	20.0	3	1.1	2	3.3	1	1.8	-0.2	0.0	0.1	-0.1	2	14.5	2
10	0.0	0.6	2.0	2	13.3	40.0	3	1.1	2	1.2	1	1.8	-0.2	0.1	0.1	-0.1	3	14.0	2
11	-0.2	0.3	0.6	2	5.5	11.1	2		0	1.2	1	1.8	-0.1	0.2	0.2	-0.1	3	19.5	2
12	-4.6	-2.6	-0.2	0	7.3	20.0	3	2.2	2	8.7	2	1.9	-0.1	0.1	0.2	-0.1	3	20.5	1
13	-2.1	-1.2	0.6	1	3.9	7.2	1		0	8.5	2	2.0	-0.1	0.1	0.1	-0.1	3	97.0	0
14	-4.4	-3.1	-0.8	0	3.7	5.5	1		0		0	1.6	-0.2	0.1	0.1	-0.1	3	81.5	0
15	-5.8	-4.5	-3.5	0	4.3	6.8	1		0	4.8	1	1.4	-0.3	0.1	0.2	-0.1	3	77.0	0
16	-6.0	-5.1	-3.9	0	0.0	0.0	0	0.2	1	0.7	1	1.0	-0.4	0.1	0.2	-0.1	3	69.0	0
17	-5.3	-2.1	0.4	1	1.5	2.6	0	2.0	2	0.1	1	-1.0	-1.4	0.1	0.2	-0.1	1	31.0	1
18	-1.5	-1.1	-0.5	0	5.4	15.0	2	0.7	2	1.9	1	-2.1	-2.6	0.4	0.1	-0.1	1	29.0	1
19	-0.3	-0.1	0.2	1	5.6	10.2	2		0	5.6	2	-1.1	-2.0	-0.6	0.1	-0.1	0	29.0	1
20	-2.1	-0.7	0.3	1	6.0	8.9	2	0.9	2	1.3	1	-1.2	-1.8	-1.5	0.1	-0.1	0		3
21	-1.6	-0.5	2.0	1	10.3	17.7	3	0.3	1	2.0	1	-1.1	-2.0	-1.0	0.2	-0.1	0	3.0	2
22	-1.1	-0.4	0.3	1	6.0	15.5	2	2.0	2	0.1	1	-0.5	-1.9	-1.0	0.1	-0.1	0	2.0	2
23	-0.8	-0.6	0.0	0	2.5	16.5	1	11.9	3	10.3	3	0.4	-1.3	-0.7	0.1	-0.1	0	2.0	2
24	-1.0	0.5	1.6	2	4.2	6.5	1	0.7	2	1.1	1	0.6	-1.1	-0.5	0.1	-0.1	0	1.0	2
25	-0.4	0.1	1.4	2	11.7	22.2	3		0		0	0.7	-1.0	-0.4	0.2	-0.1	0	1.0	2
26	1.2	1.4	1.6	3	11.3	21.9	3	0.2	1		0	1.4	-0.6	-0.2	0.2	-0.1	2		3
27	-0.1	1.1	2.3	2	8.0	21.8	3	0.1	1	11.1	3	1.3	-0.5	-0.1	0.2	-0.1	2		3
28	-1.6	-1.3	1.1	1	9.0	22.7	3		0	0.3	1	0.7	-0.7	-0.1	0.1	-0.1	0		3
29	-4.6	-3.0	0.6	1	6.5	15.0	2	6.6	3	12.2	3	1.0	-0.8	-0.2	0.2	-0.1	2		3
30	-5.5	-2.1	-0.3	0	5.3	20.0	3		0	2.8	1	1.7	-0.3	-0.2	0.1	-0.1	2		3

DATA^{*)} – Kolejne dni w okresie - Tp: 2-31.10.1993, Vch: 4.07-2.08.1993, P: 1-30.01.1992, U: 1-30.12.1990,
 Tg: 15.04-14.05.1992, GPS: 12.06-11.07.1991

DATE^{*)} – Following days in period - Tp: 2-31.10.1993, Vch: 4.07-2.08.1993, P: 1-30.01.1992, U: 1-30.12.1990,
 Tg: 15.04-14.05.1992, GPS: 12.06-11.07.1991

Tabela 9 – Table 9

Statystyki opisowe skupień uzyskanych metodą k -średnich (wartości kodów)
 Descriptive statistics for clusters from aggregation by k -means method (values of codes)

Cecha Variable	Kod Code	Średnia Average
<i>Typy dobowe 1 (Mała aktywność geomorficzna)</i> <i>Diurnal type 1 (Low geomorphic activity)</i>		
Temperatura powietrza / Air temperature	T	0.468
Prędkość wiatru / Wind speed	W	1.526
Opad atmosferyczny / Rainfall	P	0.135
Usłonecznienie względne/ Relative sunshine	U	0.926
Temperatura gruntu / Ground temperature	G	0.344
Grubość pokrywy śnieżnej / Thickness of snow cover	S	1.199
<i>Typy dobowe 2 (Średnia aktywność geomorficzna)</i> <i>Diurnal type 2 (Medium geomorphic activity)</i>		
Temperatura powietrza / Air temperature	T	1.343
Prędkość wiatru / Wind speed	W	1.057
Opad atmosferyczny / Rainfall	P	0.085
Usłonecznienie względne/ Relative sunshine	U	0.979
Temperatura gruntu / Ground temperature	G	2.713
Grubość pokrywy śnieżnej / Thickness of snow cover	S	2.393
<i>Typy dobowe 3 (duża aktywność geomorficzna)</i> <i>Diurnal type 3 (High geomorphic activity)</i>		
Temperatura powietrza / Air temperature	T	2.768
Prędkość wiatru / Wind speed	W	2.166
Opad atmosferyczny / Rainfall	P	1.498
Usłonecznienie względne/ Relative sunshine	U	1.022
Temperatura gruntu / Ground temperature	G	2.542
Grubość pokrywy śnieżnej / Thickness of snow cover	S	2.614

Przyjęcie takiego algorytmu grupowania pozwoliło na wykonanie pierwszej iteracji wyodrębniania zwartych okresów w ciągu danych. Kolejne iteracje wykonywano tak długo aż osiągnięto zbieżność pomiędzy dwoma kolejnymi iteracjami czyli nie zachodziły zmiany w obrębie okresów 7-dniowych. Zbieżność procedury iteracji można wyznaczyć na trzy sposoby:

- wg $\Delta I_i = 0$ pomiędzy wynikami dwóch kolejnych iteracji:

$$\Delta I_i = \sum_{i=1}^{i=1393} I_n - \sum_{i=1+3}^{i=1393-3} I_{n-1}$$

gdzie:

ΔI_i - różnica pomiędzy kolejnymi iteracjami dla tej samej doby i ,

I_{n-1} - kolejna iteracja (poprzednia),

I_n - kolejna iteracja (bieżąca).

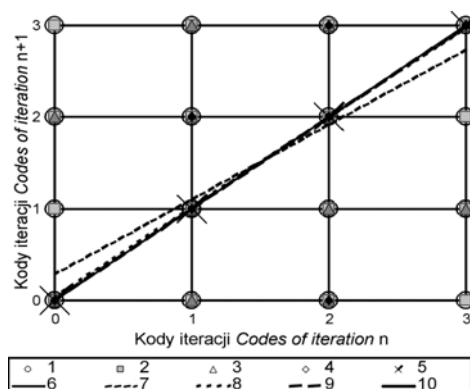
- wg współczynnika $r = 1$ pomiędzy dwoma kolejnymi iteracjami (rys. 8):

$$r_n = r_{n+1} = 1$$

gdzie:

r_n – współczynnik korelacji między iteracją poprzednią a bieżącą,

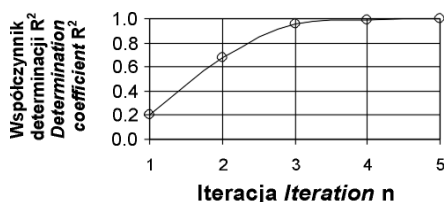
r_{n+1} – współczynnik korelacji między iteracją bieżącą a następną,



Rys. 8. Zależność między zmieniającymi się kodami w czasie kolejnych dwóch następujących po sobie iteracji kodów dla wiatru (W), Stacja Arctowskiego. Kody W odpowiadają skali efektywności krążenia materii mineralnej (por. tab. 2). 1, 2, 3, 4 i 5 – kolejne iteracje kodu W, 6, 7, 8, 9 i 10 – linie trendu dla kolejnych iteracji

Fig. 8. Relationship between changed codes during successive two following iterations for wind codes W, Arctowski Station. Codes W correspond to scale of efficiency of mineral matter circulation (see table 2). 1, 2, 3, 4, and 5 – successive iterations of code W, 6, 7, 8, 9, and 10 – trend lines for successive iterations

- wg analizy semiwariancji dla liczby iteracji i odpowiadającym im współczynnikom determinacji R^2 (rys. 9).



Rys. 9. Przebieg semiwariancji dla iteracji kodu W, Stacja Arctowskiego
 Fig. 9. Course of semivariance for iterations of code W, Arctowski Station

Z uwagi na to, że procedurę iteracyjną zakończono po trzech powtórzeniach, oryginalny ciąg danych został skrócony automatycznie o 9 dni z początku i końca okresu badawczego. Oznacza to, że uzyskane okresy obejmują 1375 dób w okresie od 9 kwietnia 1990 do 13 stycznia 1994 roku.

5. Wyniki i wnioski

W oparciu o indywidualne kody sześciu analizowanych cech sformułowano cyfrowe typy aktywności geomorficznej dla poszczególnych dób jako podstawowych jednostek klasyfikacyjnych. Podstawowym założeniem prowadzonej analizy jest zasada uwzględniania tylko wartości dobowych⁸. Z tego względu typy klasyfikacyjne nazwano dobowymi⁹ typami aktywności geomorficznej. W maksymalnym wymiarze przy założonych kryteriach i skalach dla sześciu parametrów można teoretycznie się spodziewać 4096 typów dobowych w przedziale o skrajnych typach 000000 i 333333. W wyniku przypisania kodów uzyskano *de facto* 538 typów dobowych dla całego analizowanego okresu badań, obejmującego 1393 doby. Uzyskana liczba wyróżnionych typów dobowych świadczy o stosunkowo niejednorodnych warunkach klimatycznych w kolejnych dobach, a więc szybko zmieniających się warunkach pogodowych, co jest specyficzną właściwością basenu Zatoki Admiralicji, szczególnie na zachodnim brzegu.

Potwierdza tą opinię ilość typów w układzie chronologicznym w analizowanym okresie, których stwierdzono 1288, w tym 1202 typy 1-dniowe, 69 typów 2-dniowych, 15 typów 3-dniowych i 2 typy 4-dniowe (tab. 10). Dni najbardziej stabilne pogodowo występują głównie w okresie zimnym (szczególnie w lipcu) i cechują się ujemnymi temperaturami powietrza i gruntu oraz brakiem opadów atmosferycznych i usłonecznienia, a także niewielką pokrywą śnieżną (do 20 cm). Z punktu widzenia funkcjonowania geoeosystemu są to okresy stabilizacji, unieruchomienia krążenia materii mineralnej. Wśród 3-dniowych jednorodnych okresów wystąpiły zaledwie dwie daty z sezonu ciepłego (17-19.03.1992 i 7-9.01.1993), dla których wspólnymi cechami były brak opadów atmosferycznych oraz dodatnia temperatura gruntu.

Tabela 10 – Table 10

Dobowe typy aktywności geomorficznej dla jednorodnych okresów 3- i 4-dniowych w okresie obserwacyjnym 1 kwietnia 1990 – 22 stycznia 1994 r, Stacja Arctowski

Diurnal types of geomorphic activity for homogenous periods of 3-days and 4-days in observational season April 1, 1990 – January 22, 1994; Arctowski Station

Data Date	TWPUGS	Data Date	TWPUGS	Data Date	TWPUGS	Data Date	TWPUGS
90.04.29-05.01	010111	91.06.05-07	010002	92.03.17-19	020032	93.01.07-09	300133
90.05.24-26	010100	91.06.15-17	010101	92.04.28-30	010032	93.06.07-09	130103
90.07.10-13	020000	91.07.18-20	020002	92.05.23-25	000002	93.07.02-04	000302
90.07.15-17	020000			92.07.02-04	000001	93.07.16-18	010002
90.07.21-24	010000			92.10.22-24	110022		

⁸ W oryginalnych pracach Wosia (1977, 1996), Ferdynusa, Marsza (2000) oraz Marsza (1992) autorzy ci opierają się na okresach pentadowych.

⁹ Autor celowo nie wprowadza odrębnej terminologii dla wyznaczanych typów. W oryginalnych pracach Wosia (1977, 1996), Ferdynusa, Marsza (2000) oraz Marsza (1992) autorzy ci używają pojęcia "typ pogody". Niniejsze opracowanie nie dotyczy *sensu stricte* klimatu czy pogody, w związku z tym postanowiono zrezygnować z tego określenia i zastąpić je terminem "typ dobowy", nie określając bliżej charakterystyki tego typu, albowiem nie będzie on stanowić przedmiotu oddzielnych dociekań a stanowi tylko jeden z etapów przejściowych przy wyznaczaniu okresów efektywności krążenia materii mineralnej.

Na tej podstawie można wnosić, że sezon ciepły jest w strefie subantarktycznej bardziej zróżnicowany pogodowo w krótkich skalach czasowych, a tym samym geomorficznie, niż sezon zimny. Ponadto warto zwrócić uwagę, że tylko dwie daty miały identyczny typ (010002) wśród 17 okresów jednorodnych dłuższych od trzech dni. Były to daty 5-7.06.1991 i 16-18.7.1993, a więc w okresie zimnym, kiedy temperatury powietrza i gruntu były poniżej 0°C, nie było opadów atmosferycznych i promieniowania słonecznego, a pokrywa śnieżna miała miąższość mniejszą niż 20 cm, co może być równoznaczne z płatowym występowaniem tej pokrywy. Takie warunki pogodowe są warunkami jednymi ze skrajnych, w których przemieszczanie materii mineralnej jeśli nie jest wstrzymane całkowicie, to jest bardzo znacznie ograniczone.

Rysunek 7 przedstawia czasowy rozkład wszystkich typów dobowych aktywności geomorficznej. Wynika z niego, że kolejne doby można wyraźnie wydzielić dla sezonów letnich (typy 3XXXXX) i zimowych (0XXXXX), podczas gdy doby typów przejściowych (1XXXXX i 2XXXXX) są mniej więcej równomiernie rozłożone w przeciągu całego okresu obserwacyjnego. W okresie zimowym wyróżniają się typy "wietrzne" o notacji X1XXXX i X2XXXX: 010001 (23 dni), 010002 (21 dni) 010101 (14 dni), 020000 (15 dni), 020001 (18 dni), 020002 (30 dni), które są najczęściej występującymi w okresie obserwacyjnym. Ich skuteczność geomorficzna jest jednak nieznacząca, bowiem oprócz niekorzystnych warunków termicznych i opadowych (0X0XXX) występuje pokrywa śnieżna (XXXXX1/2), która utrudnia przemieszczanie cząstek stałych materii mineralnej. W okresie lata antarktycznego zarysowuje się chaotyczność w rozmieszczeniu punktów, co oznacza dużą różnorodność typów dobowych. Można pokusić się zatem o wnioskowanie, że w okresie lata występują o wiele bardziej zróżnicowane międzydobowo warunki pogodowe, które w zróżnicowany sposób regulują krążenie materii mineralnej, a przez to częściej następuje zmiana intensywności aktywności geomorficznej.

Interpretacja dobowych typów aktywności geomorficznej obarczona jest jednak rozpatrywaniem tej aktywności w kontekście konkretnych wartości kodowych pojedynczej cechy lub analizowanego zakresu cech. Wykonane grupowanie typów dobowych metodą *k*-średnich uwalnia interpretację od rozpatrywania wartości poszczególnych cech, a raczej skłania do zintegrowanego odczytywania wyróżnionych grup. Na aktualnym poziomie analizy rozpatrywanych jest zatem równocześnie sześć cech, które wpływają i mogą świadczyć o funkcjonowaniu środowisk geomorficznych, morfogenetycznych i sedymentacyjnych w geosystemie subantarktycznym (Zwoliński 2002). Nawet jeśli jednostką czasową jest jedna doba, trudno przyjąć założenie, że żadna z analizowanych cech nie oddziałuje na procesy funkcjonujące w geosystemie. Można przyjąć, że w funkcjonowaniu naturalnych środowisk, kształtowanych nawet w tak ekstremalnych warunkach jak antarktycznych i subantarktycznych, nie występuje sytuacja, w której byłby całkowity bezruch materii, absolutna stabilizacja, zupełny brak krążenia materii mineralnej i aktywności geomorficznej (ponadto trzeba również wziąć pod uwagę fakt, że oprócz analizowanych cech, na przebieg i tempo zmian w geosystemie wpływają także inne czynniki klimatyczne i morfogenetyczne, zarówno mierzalne jak i niemierzalne, nie analizowane w niniejszej pracy). Stwierdzenie to nie stoi w sprzeczności z poprzednio przyjętym założeniem o braku efektywności krążenia materii mineralnej i aktywności geomorficznej, bowiem wówczas analizowano funkcjonowanie geosystemu z punktu widzenia tylko jednej z analizowanych cech. W tamtym podejściu był możliwy brak przejawów funkcjonowania geosystemu. Jeśli np. nie występował wiatr, to trudno byłoby się spodziewać efektów jego działania. Na obecnym etapie analizy, zintegrowanego traktowania wszystkich analizowanych cech, takie stwierdzenie nie może mieć miejsca.

W ten sposób z dalszej analizy wykluczono możliwość wystąpienia opcji braku efektywności krążenia materii mineralnej, a więc także braku aktywności geomorficznej. Stwierdzenie to jest o tyle istotne, że zakłada ciągłość funkcjonowania geosystemów antarktycznych a przede wszystkim subantarktycznych, a właściwością różnicującą jest tempo / intensywność tego funkcjonowania.

W efekcie grupowania metodą *k*-średnich oraz ich kumulacji dla okresów 7-dniowych (rys. 10) otrzymano 59 jednorodnych okresów z dobowymi typami aktywności geomorficznej (1, 2 i 3) w okresie obserwacyjnym od 10 kwietnia 1990 do 13 stycznia 1994 r. Długość trwania okresów jest zróżnicowana i waha się od 4 dni (typ 3: 10-13.04.1991, typ 3: 29.06-2.07.1991, typ 2: 25-28.02.1993, typ 3: 3-6.04.1993) do 185 dni (typ 2: 26.04-27.10.1990) przy średniej długości okresu 24 dni.

W celach identyfikacyjnych otrzymany rozkład okresów porównano z potencjalnym promieniowaniem słonecznym na granicy atmosfery Q_d obliczonym dla Stacji Arctowski wg wzoru Kędziory (1999), który poddano także grupowaniu metodą *k*-średnich. Uzyskane 3 grupy dla Q_d posłużyły do określenia teoretycznych początków i końców pór letniej, zimowej i przejściowych. Dla pojedynczego roku są to następujące daty:

Pora przejściowa zstępująca	– od 13 marca do 25 kwietnia	44 dni
Pora zimowa	– od 26 kwietnia do 17 sierpnia	114 dni
Pora przejściowa wstępująca	– od 18 sierpnia do 30 września	44 dni
Pora letnia	– od 1 października do 12 marca	163 dni

Dla pogrupowanych typów dobowych początku i końca okresów ich występowania zestawiono w tabeli 11. Porównanie długości teoretycznych pór sezonowych z okresami występowania określonych typów dobowych skłania do kilku ogólnych wniosków:

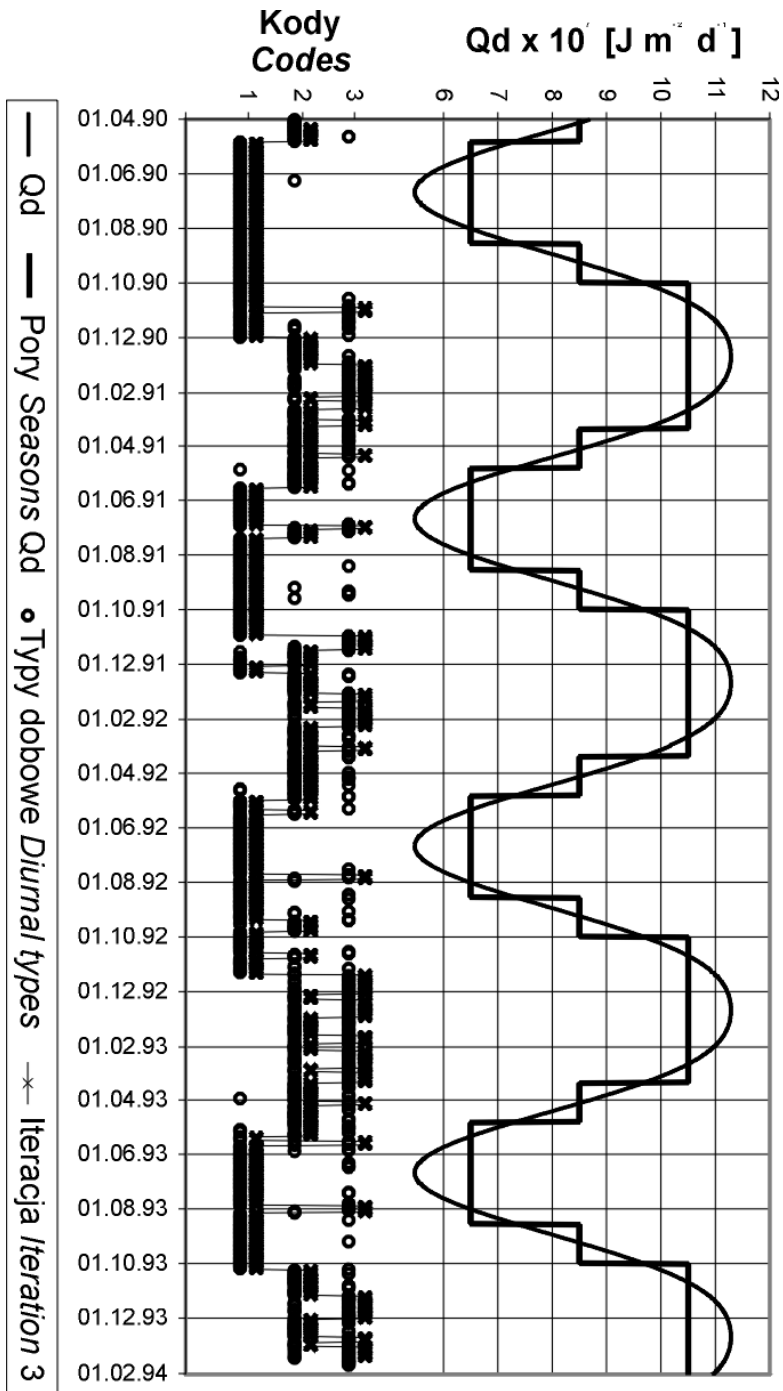
- wydzielone okresy typów aktywności geomorficznej generalnie nawiązują swym rytmem do zmian w dostawie promieniowania słonecznego i oddają naturę funkcjonowania geosystemu subantarktycznego;

- jedynie dwukrotnie daty początku i jednokrotnie data końca średniej efektywności obiegu materii mineralnej i aktywności geomorficznej była zgodna z datami początku i końca zstępującej pory przejściowej (z dokładnością do 3 dni);

- “teoretycznej” porze letniej odpowiada okres typów dobowych o dużej efektywności obiegu materii mineralnej i aktywności geomorficznej; pora letnia liczy 163 dni, podczas gdy okresy z typami o dużej efektywności w badanym cyklu obserwacyjnym liczyły 69, 37, 121 i 69 dni (wartość ostatnia nie obejmuje całego okresu);

- “teoretycznej” porze zimowej odpowiada okres typów dobowych o małej efektywności obiegu materii mineralnej i aktywności geomorficznej; pora zimowa liczy 114 dni, podczas gdy okresy z typami o małej efektywności w badanym cyklu obserwacyjnym liczyły 219, 165, 179 i 139 dni;

- “teoretycznym” porom przejściowym odpowiada okres typów dobowych o średniej efektywności obiegu materii mineralnej i aktywności geomorficznej; pora przejściowa niezależnie od umiejscowienia w roku kalendarzowym liczy 44 dni, podczas gdy okresy z typami o średniej efektywności w badanym cyklu obserwacyjnym liczyły 16 (najprawdopodobniej jest to niecały okres), 69, 98 i 70 dni w przypadku pory zstępującej oraz 30, 65, 0, i 29 dni dla pory wstępującej; porę zstępującą można kojarzyć z porą jesienną w strefie umiarkowanej a porę wstępującą - z porą wiosenną;



Rys. 10. Przebieg typów dobowych i ich iteracji nr 3 na tle przebiegu potencjalnego dobowego promieniowania słonecznego (Qd) i rozkładu teoretycznych pór

Fig. 10. Course of diurnal types and their iteration no. 3 on the background of potential diurnal sunny radiation (Qd) and pattern of theoretical seasons

Tabela 11 – Table 11

Czas i długość trwania okresów typów dobowych z małą, średnią i dużą aktywnością geomorficzną,
Stacja Arctowski

Time and duration of diurnal type periods with low, medium and high geomorphic activity; Arctowski station

Okres typów dobowych Diurnal type periods	Daty Dates	Ilość dni Duration
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	10.04.90-25.04.90	16
Mała efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Low efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	26.04.90-30.11.90	219
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	01.12.90-30.12.90	30
Duża efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna High efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	31.12.90-09.03.91	69
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	10.03.91-17.05.91	69
Mała efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Low efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	18.05.91-29.10.91	165
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	30.10.91-02.01.92	65
Duża efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna High efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	03.01.92-08.02.92	37
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	09.02.92-16.05.92	98
Mała efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Low efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	17.05.92-11.11.92	179
Duża efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna High efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	12.11.92-12.03.93	121
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	13.03.93-21.05.93	70
Mała efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Low efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	22.05.93-07.10.93	139
Średnia efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna Medium efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	08.10.93-05.11.93	29
Duża efektywność obiegu materii mineralnej i aktywność geomorficzna High efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity	06.11.93-13.01.94	69

– należy stwierdzić rozbieżność pomiędzy “teoretycznymi” długościami trwania poszczególnych pór, a wydzielonymi na drodze grupowania okresami z typami dobowymi efektywności obiegu materii mineralnej; najprawdopodobniej przyczyny tych rozbieżności tkwią w uwarunkowaniach lokalnych (Zatoki Admiralicji, Wyspy Króla Jerzego) i/lub regionalnych (Szetlandy Południowe, Półwysep Antarktyczny);

– w oparciu o badany cykl obserwacyjny zauważono nieznaczną tendencję do skracania się okresów z małą aktywnością geomorficzną, odpowiadającym porze zimowej oraz równie nieznaczną

tendencję do wydłużania się okresów z dużą aktywnością geomorficzna, odpowiadającym porze letniej. Informacja ta dobrze koresponduje z obserwowanymi skutkami, zarówno w obrębie Szetlandów Południowych (Battke, Marsz, Pudelko 2001, Marsz 2000a, Piasecki 1988, Rachlewicz 1995, 2001, Rakusa-Suszczewski 1999) jak i Półwyspu Antarktycznego (Lucchitta, Rosanova 1998, Rott i in. 1996, Rott et al. 1998, Skvarca et al. 1998, Vaughan, Doake 1996, Ward 1995), globalnego ocieplenia w postaci powiększania się powierzchni obszarów wolnych od lodów.

– w oparciu o 4-letni cykl obserwacyjny można stwierdzić, że okresy z typami dobowymi o średniej efektywności krążenia materii mineralnej i aktywności geomorficznej są zróżnicowane pod względem czasu trwania w zależności od rozkładu w ciągu roku. Okresy odpowiadające porze wstępującej (wiosennej) są średnio o połowę krótsze niż okresy odpowiadające porze zstępującej (jesiennej). Można zatem uogólnić, że współczesny geoekosystem subantarktyczny łatwiej wchodzi w okres swej dużej aktywności geomorficznej i jednocześnie trudniej z niego wychodzi.

– na odrębną uwagę zasługuje wstępująca pora przejściowa (wiosenna) w okresie od początku września do końca pierwszej dekady listopada 1992 roku. Czas ten został zakwalifikowany jako okres o małej aktywności geomorficznej, po którym nagle od 12 listopada pojawił się okres dużej aktywności geomorficznej. Oznacza to brak okresu ze średnią aktywnością geomorficzną. Obserwując szereg anomalii przyrodniczych powodowanych w głównej mierze anomaliami klimatycznymi na całym globie można przypuszczać, że geoekosystem subantarktyczny będzie coraz częściej przechodził z jednej skrajnej fazy funkcjonowania do innej skrajnej fazy funkcjonowania. Prawdopodobnie takie gwałtowne zmiany w funkcjonowaniu geoekosystemów będą wyraźniejsze w ekstremalnych strefach morfoklimatycznych aniżeli w strefie umiarkowanej.

Wydaje się, że zastosowane postępowanie badawcze umożliwiło określenie typów efektywności obiegu materii mineralnej i ich rozkładu czasowego. Powiązanie tych informacji z pomiarami monitoringowymi procesów geomorficznych może stanowić podstawę do jakościowej i ilościowej oceny aktywności geomorficznej na obszarach wolnych od lodu.

Literatura

- Arnoldus W., 1978, An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. W: Assessment of erosion, M. de Boodt, D. Gabriels (eds.), John Wiley & Sons, Inc., New York: 127-132.
- Battke Z., Marsz A.A., Pudelko R., 2001, Procesy deglacjacji na obszarze SSSI No. 8 i ich uwarunkowania klimatyczne oraz hydrologiczne (Zatoka Admiralicji, Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Południowe). *Problemy Klimatologii Polarnej* 11: 121-135.
- Fournier F., 1960. *Climat et erosion*. Presse Univ. de France, Paris.
- Ferdynus J., Marsz A.A., 2000, Struktura stanów pogody i sezonowość pogodowa. [w:] Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jerzego), A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.). WSM Gdynia: 143-162.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C., 1996, Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa: 148 s.
- Kędziora A., 1999, *Podstawy agrometeorologii*. PWRiL, Poznań: 364 s.
- Kejna M., 1994, Warunki występowania najwyższych i najniższych średnich dobowych temperatur powietrza w Stacji H. Arctowskiego (Szetlandy Płd.) w latach 1986-89. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 4: 35-42.

- Kejna M., 1999, Temperatura powietrza w wybranych ekotopach w rejonie Stacji H. Arctowskiego (Wyspa Króla Jezrzege, Antarktyka) w sezonie letnim 1995/1996. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 9: 131-142.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Zb., 1994, Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. *Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich*, Poznań: 165 s.
- Kruszewski G., 2000, Temperatura gruntu na Stacji Arctowskiego. [w:] Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jezrzege), A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.). WSM Gdynia: 215-221.
- Lucchitta B.K., Rosanova C.E., 1998, Retreat of northern margins of George VI and Wilkins Ice Shelves, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27: 41-46.
- Malin M.C., 1984, Preliminary abrasion rate observations in Victoria Valley, Antarctica. *Antarctic Journal of the United States - 1983 Review*, 18(5): 25-26.
- Marsz A.A., 1992, Struktura pogód i roczna sezonowość klimatu Stacji Arctowskiego. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 30-49.
- Marsz A. A., 2000a, Charakterystyka fizyczno-geograficzna obszarów lądowych w otoczeniu Zatoki Admiralicji (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jezrzege). Wyd. WSM Gdynia: 125 s.
- Marsz A.A., 2000b, Dobowe i międzydobowe przebiegi temperatury powietrza. [w:] Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jezrzege), A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.). WSM Gdynia: 97-102.
- Marsz A.A., 2000c, Opady atmosferyczne. [w:] Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jezrzege), A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.). WSM Gdynia: 125-137.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2000, Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jezrzege). WSM Gdynia: 264 s.
- Mazurek M., 2000, Zmienność transportu rozpuszczonego w zlewni Kludy jako odzwierciedlenie współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). Wyd. UAM, Poznań, Ser. Geografia, 25: 125.
- Piasecki J., 1988, Wybrane problemy przebiegu elementów meteorologicznych w rejonie lodowca Sphinx, podczas lata antarktycznego 1978/79 r. (zatoka Admiralicji, Wyspa Króla Jezrzege). *Biul. Met.* 29 (4), cz. A, Artykuły, *Acta Univ. Wratisl.*, 738: 173-192.
- Rachlewicz G., 1995, Ablacja lodowca Ekologii, Wyspa Króla Jezrzege, (Szetlandy Południowe) w roku 1991. *Materiały XXII Sympozjum Polarnego*, Wrocław-Książ, 27-28.10.1995: 61-68.
- Rachlewicz G., 2001, Wybrane procesy glacialne w warunkach morskiego klimatu Antarktyki na przykładzie Kopuły Lodowej Warszawy, Wyspa Króla Jezrzege (Szetlandy Południowe). [w:] *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring, ochrona, edukacja*. A. Karczewski, Zb. Zwoliński (red.), *Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 443-452.
- Rakusa-Suszczewski S., 1992, Zatoka Admiralicji. Ekosystem strefy przebrzeżnej morskiej Antarktyki. *Oficyna Wyd. Instytut Ekologii PAN, Dziekanów Leśny*.
- Rakusa-Suszczewski S., 1999, Ekosystem morskiej Antarktyki. *Zmiany i zmienność*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Rott H., Rack W., Nagler T., Skvarca P., 1998, Climatically induced retreat and collapse of northern Larsen Ice Shelf, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27: 86-92.
- Rott H., Skvarca P., Nagler T., 1996, Rapid collapse of Northern Larsen Ice Shelf, Antarctica. *Science*, 271: 788-792.
- Skvarca P., Rack W., Rott H., Ibarzábaly Donángelo T., 1998, Evidence of recent climate warming on the eastern Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27: 628-632.
- Statsoft, Inc., 2000. STATISTICA for Windows [Computer program manual - <http://www.statsoft.com>].

- Styszyńska A., 2000a, Wiatr. [w:] Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jerzego), A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.). WSM Gdynia: 47-61.
- Styszyńska A., 2000b, Usłonecznienie. [w:] Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jerzego), A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.). WSM Gdynia: 71-76.
- Vaughan D.G., Doake C.S.M., 1996, Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. *Nature*, 379: 328-331.
- Ward C.G., 1995, Mapping ice front changes of Muller Ice Shelf, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*, 7: 197-198.
- Woś A. 1977, Zarys struktury sezonowej klimatu Niziny Wielkopolskiej i Pojezierza Pomorskiego. Ser. Geogr., 15. Wyd. UAM, Poznań.
- Woś A., 1996, Struktura sezonowa klimatu Polski. Bogucki wyd. nauk., Poznań: 146.
- Zwoliński Z., 1989, Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzeczno. *Dokum. Geogr.*, 3/4: 1-144.
- Zwoliński Z., 1992, Transformation chain of mineral matter in the coastal geoecosystem of the Admiralty Bay, Antarctica. [w:] Int. Symp. "Functioning of coastal ecosystems in various geographical regions", Program & Abstracts, Gdańsk: 31-32.
- Zwoliński Z., 1997, Mineral matter circulation within a polar geoecosystem, South Shetland Islands. *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Torino, Suppl. III, Tomo 1: 418.
- Zwoliński Z., 2001, Uwarunkowania struktury sezonowej aktywności geomorficznej na obszarach wolnych od lodu, Wyspa Króla Jerzego, Antarktyka Zachodnia. W: *Funkcjonowanie geoeosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych. Monitoring, ochrona, edukacja*. A. Karczewski, Z. Zwoliński (red.). Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 575-587.
- Zwoliński Z., 2002, Model krążenia materii mineralnej na obszarach wolnych od lodu, Wyspa Króla Jerzego, Antarktyka Zachodnia. W: *Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów obszarów polarnych*, A. Kosztrzewski, G. Rachlewicz (red.). *Polish Polar Studies*, Poznań: 371-395.

CLIMATIC CONDITIONS OF GEOMORPHIC ACTIVITY, KING GEORGE ISLAND, THE SOUTH SHETLANDS

Summary

The paper presents the proposal of a method for an indirect evaluation of geomorphic activity on ice-free areas on King George Island (South Shetlands, West Antarctica) through analysis of climatic conditions affecting the mobility of mineral matter. It was assumed that weather conditions affected the movement of mineral matter, which in turn determined geomorphic activity on ice-free areas, which currently occupy over 25 km² of Admiralty Bay. On the basis of encoded values of six variables: air temperature, wind speed, rainfall, sunshine, ground temperature, and thickness of snow cover, diurnal types of the efficiency of mineral matter circulation were determined which were then clustered using the *k*-means method. After the cumulation of results for 7-day periods, a total of 59 homogeneous periods were obtained characterised by diurnal types of geomorphic activity (1, 2 and 3) in the observation period from April 10, 1990 to January 13, 1994. The summer season is a period

with a high efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity, while winter time is one with a low efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity. Periods with an average efficiency of mineral matter circulation and geomorphic activity correspond to ascending and descending transition times. It is possible to associate the descending period with the autumn season in the temperate zone, while the ascending period, with spring-time.