

POZNAŃSKIE POLARNE BADANIA METEOROLOGICZNE I KLIMATOLOGICZNE

POZNAŃ POLAR METEOROLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL RESEARCH

Grzegorz Rachlewicz, Zbigniew Zwoliński

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań
grzera@amu.edu.pl, zbzww@amu.edu.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono historię badań meteorologicznych i klimatycznych prowadzonych przez pracowników Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na dwóch skrajnych obszarach polarnych, to jest Arktyce Wysokiej oraz Antarktyce Morskiej. Badania te głównie obejmowały okresy letnie w Arktyce oraz 4-letnią serię obserwacyjną w Antarktyce. Przeprowadzone badania stanowią podstawę do opisu uwarunkowań klimatycznych współczesnych procesów deglacji na skutek globalnych anomalii klimatycznych.

Słowa kluczowe: badania polarne, meteorologia i klimatologia, Arktyka, Antarktyka, Spitsbergen.

W ośrodku poznańskim badania polarne rozpoczynają się z końcem lat 60. XX wieku od udziału Stefana Kozarskiego w wyprawie Polskiego Towarzystwa Geograficznego na Islandię i są kontynuowane w latach 70. w ramach wypraw Polskiej Akademii Nauk do Hornsundu przez Jerzego Fedorowskiego, Andrzeja Karczewskiego, Piotra Kłysza, Andrzeja Kostrzewskiego, Stefana Kozarskiego i Wojciecha Stankowskiego. Wśród prowadzonych podówczas prac dominuje nurt geomorfologiczny i paleogeograficzny, będący sztandarowym kierunkiem geografii na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza (UAM), wyrastającym z korzeni odnoszących się do rekonstrukcji plejstoceńskich zlodowaceń Niżu Środkowoeuropejskiego. Należy wspomnieć także o odbywających się w tym okresie wyprawach eksploracyjnych Ryszarda Wiktora Schramma, w których brali udział hydrolog Adam Choiński i geomorfolog Piotr Kłysz. Działalność tego drugiego skierowała uwagę poznańskich uczonych na obszar znajdujący się w środkowej części Spitsbergenu, otoczenie Zatoki Petunia, w sąsiedztwie rosyjskiej kopalni węgla i osady Piramid. Tutaj, w Skottehytta, domku, który uprzednio służył m.in. poszukiwaczom surowców naturalnych ze Scottish Spitsbergen Syndycate (prawdopodobnie od roku 1917) i wyprawom Cambridge University (w latach 50. i 60. XX wieku) znalazły swoją bazę wyprawy Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM, organizowane od 1984 roku (Rachlewicz i in. 2013).

Po raz pierwszy obserwacje meteorologiczne w czasie tych ekspedycji rozpoczęto w roku 1985. Towarzystwo one prowadzonym przez zespół Andrzeja Kostrzewskiego badaniom denudacji w obrębie zlewni zlodowaczonej Ebba i niezlodowaczonej Dynamisk (Kostrzewski i in. 1989), sąsiadujących z postępnym obserwacyjnym „Skottehytta” (ryc. 1). Na przełomie czerwca i lipca 1985 roku pomiary mete-

orologiczne prowadził Janusz Kapuściński z Akademii Rolniczej w Poznaniu, a wśród mierzonych parametrów znajdowały się temperatura i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, wielkość opadu i parowania ze swobodnej powierzchni wodnej, promieniowanie bezpośrednie i rozproszone oraz temperatura gruntu na czterech głębokościach. Udokumentowany w pracy Kostrzewskiego i in. (1989) okres był bardzo ciepły, co zwróciło uwagę na gwałtowność reakcji zwłaszcza obszaru częściowo zlodowaczonego i jego indywidualność w stosunku do innych miejsc na Spitsbergenie, gdzie prowadzone były obserwacje zarówno meteorologiczne i glaciologiczne jak również geomorfologiczne. Mimo szczupłości materiału dokumentacyjnego, a przede wszystkim krótkiego przedziału czasowego badań, jako jedna z pierwszych prac wiążąca warunki meteorologiczne, hydrologiczne i współczesne procesy geomorfologiczne, a szczególnie procesy denudacji chemicznej i mechanicznej, była ona i jest do dziś często cytowana jako praca pionierska w skali globalnej.

Podczas kolejnych wypraw prowadzone były także, choć sporadycznie, pomiary temperatury powietrza jako odniesienie do procesów ablacji lodowców oraz pomiary termiki gruntu (Karczewski 1988, Rachlewicz i in. 1988). Pomiary temperatury powietrza stały się w później jednym z kluczowych kierunków badań, rozwijając zagadnienia funkcjonowania systemu glacialnego o elementy dynamiki mas lodowych i ich bilansu. Badane elementy glacialne nawiązują do procesów wywołanych globalnymi zmianami klimatycznymi bardzo wyraźnie uwidaczniającymi się w obszarze środkowego Spitsbergenu, należącego do jednego z najmniej pokrytych lodowcami regionów Svalbardu. Drugi nurt badań, wiążący się z reakcją wieloletniej zmarzliny na globalne ocieplenie posiadał nie tylko walor dokumentacyjny, ale pozwolił także na powiązanie tempa rozmarzania wieloletniej zmarzliny ze różnicowaniem środowiskowym, w zależności od takich elementów jak budowa geologiczna, pokrywy osadowe czy warunki hydrologiczne.

Ekspedycje na Spitsbergen zostały przerwane po pięciu sezonach w 1989 roku, natomiast od sezonu letniego 1989/1990 pracownicy Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu brali udział w wyprawach antarktycznych Polskiej Akademii Nauk do stacji im. Henryka Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego w archipelagu Szetlandów Południowych. W lutym 1990 roku na Stacji Arctowskiego zostały przerwane, prowadzone przez trzynaście lat, obserwacje meteorologiczne koordynowane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Pracownicy UAM rozpoczęli wówczas cykl badań w ramach projektu „Funkcjonowanie geokosystemów lądowych zachodniego wybrzeża Zatoki Admiralicji, Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Południowe”, koordynowany przez Andrzeja Kostrzewskiego. W związku z realizowanym programem badań niezbędne było zapewnienie osłony meteorologicznej, którą w oparciu o istniejące na Stacji zaplecze realizowali pracownicy UAM w kolejnych zimowaniach i badaniach letnich: w roku 1990 Zbigniew Zwoliński, w roku 1991 Przemysław Gonera i Grzegorz Rachlewicz, w roku 1992 Grzegorz Tomczak oraz w roku 1993 Aleksander Piechura. Ograniczone zaplecze instrumentalne oraz możliwości czasowe pojedynczego obserwatora spowodowały korzystanie w dużej mierze z urządzeń samopiszących oraz po raz pierwszy zastosowanej na Stacji Arctowskiego automatycznej rejestracji wybranych elementów meteorologicznych (Zwoliński 1992), wspartych bezpośrednimi obserwacjami trzy razy na dobę (6:00, 12:00, 18:00 UTM). Dzięki temu udało się zebrać unikalną, czteroletnią serię danych obejmującą ciśnienie atmosferyczne, temperaturę i wilgotność powietrza, wielkość i charakter opadu, usłonecznienie, zachmurzenie i widzialność poziomą, prędkość i kierunek wiatru, grubość pokrywy śnieżnej, równoważnik wodno-śniegowy, a także temperaturę gruntu na pięciu głębokościach. Wyniki obserwacji meteorologicznych posłużyły jako materiał analityczny i syntetyczny w wielu publikacjach, dotyczących problematyki w niewielkim stopniu wcześ-

niej poruszanej w dorobku naukowym Stacji Arctowskiego, związanej między innymi z transformacją pokrywy śnieżnej (Gonera, Rachlewicz 1997), ablacją lodowców otoczenia Zatoki Admiralicji (Rachlewicz 1995, 2001), występowaniem odwilży śródziemnych i ich skutkami (Rachlewicz 1997, Zwoliński 2007a), a przede wszystkim określeniu warunków denudacyjnych na obszarach wolnych od lodu Wyspy Króla Jerzego i stworzeniu modelu aktywności geomorficznej, mającej udział we współczesnym kształtowaniu rzeźby na obszarach paraglacialnych (Zwoliński 2002, 2007a).

Kolejnym programem badawczym, realizowanym w obszarach polarnych w latach 1996-1998, w którym uczestniczyli pracownicy UAM (A. Karczewski, R. Paluszkiewicz, G. Rachlewicz, W. Szczuciński) był projekt „Fizyczne procesy glacialne na południowym Spitsbergenie w warunkach zmian klimatu” kierowany przez Jacka Janię z Uniwersytetu Śląskiego, projekt finansowany przez Komitet Badań Naukowych. W ramach tego projektu prowadzono między innymi obserwacje topoklimatyczne w relacji z termiką powierzchni gruntu i czynnej warstwy zmarzliny, a także ablacją lodowca Hansa oraz współczesnym rozwojem pokryw osadowych jego strefy marginalnej. Określono dominującą rolę procesów supraglacialnych w kształtowaniu rzeźby przedpola lodowca, a także charakter i efekty indukowanych warunkami meteorologicznymi ruchów masowych osadów glacialnych oraz ubytku lodu stanowiącego trzony pagórów morenowych, występujących pod okrywą gliniastą w warunkach peryglacialnych (Karczewski, Rachlewicz 1998, 2000).

Po zakończeniu realizacji projektu w Homsundzie powrócono do idei kontynuacji badań w okolicach stacji Skottehytta w otoczeniu Zatoki Petunia na środkowym Spitsbergenie (fot. 1). Jednym z podstawowych założeń dalszej działalności ośrodka poznańskiego było nawiązanie do programu z lat 80. XX wieku i uzyskaniu długookresowych serii pomiarowych, pozwalających na ocenę funkcjonowania systemu denudacyjnego i depozycyjnego zlewni zlodowaconych i niezlodowaconych wysokiej Arktyki. Jednym z podstawowych warunków ustanowienia systemu pomiarowego w tym zakresie było prowadzenie obserwacji meteorologicznych, które wdrożono już podczas rekonesansowej wyprawy w roku 2000 i kontynuowano podczas sezonów letnich 2001-2003 w ramach projektu „Obieg materii w lądowo-morskim geoekosystemie arktycznym na przykładzie Billefjorden, Spitsbergen środkowy”, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (Rachlewicz 2003a, 2009). Obserwacje odbywały się w trybie terminowym podczas trwania ekspedycji latem i wczesną jesienią (cztery razy na dobę: 6:00, 12:00, 18:00, 24:00 UTM), wspomagane automatyczną rejestracją ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności powietrza, opadu oraz prędkości i kierunku wiatru. Dzięki użyciu rejestratorów zapis temperatury powietrza został rozciągnięty na okres całego roku, co pozwoliło po raz pierwszy na bezpośrednie porównanie w dłuższym okresie warunków panujących we wnętrzu wyspy z danymi pochodzącymi z posterunku w Longyearbyen, a zatem odniesienia ich do najdłuższej serii czasowej w tym regionie (Rachlewicz, Styszyńska 2007). Badania te wykazały wyraźne kontrasty termiczne pomiędzy stanowiskami, sięgające 1-2°C więcej w Zatoce Petunia latem i 2-4°C mniej zimą.

Dalsze badania nad warunkami pogodowymi i termiką gruntu były prowadzone po rocznej przerwie, od sezonu letniego 2005 w ramach przygotowań i realizacji Międzynarodowego Roku Polarnego, co pozwoliło na rozszerzenie terytorialne porównań elementów pogodowych i ich wpływu na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego o inne obszary polskiej działalności na Svalbardzie (Przybylak i in. 2006, 2007a, b, 2013, Rachlewicz i Szczuciński 2008). Badanie te były realizowane w ramach projektu „Struktura, ewolucja i dynamika litosfery, kriosfery i biosfery w europejskim sektorze Arktyki oraz w Antarktyce”, koordynowanego przez Aleksandra Gutercha (Rachlewicz i in. 2007a, Rachlewicz i Zwoliński 2008). Równolegle rozpoczęto badania jeziorzek tundrowych na podniesionych

terasach morskich wschodniego wybrzeża Zatoki Petunia, dla których uwarunkowania meteorologiczne stanowiły kluczowe znaczenia w funkcjonowaniu tych specyficznych geoeosystemów (Zwoliński i in. 2007, 2008, Paluszkiwicz i in. 2008, Mazurek i in. 2012). Jednocześnie poważnym wsparciem dla badań prowadzonych pod koniec tego okresu okazało się włączenie zespołu Zakładu Klimatologii i Meteorologii UAM, którego prace wykroczyły znacznie poza dotychczasowe ramy, obejmując zagadnienia bioklimatologii oraz szeroko pojmowanego klimatu regionu (Bednorz i Kolen-dowicz 2010, Bednorz 2011, Bednorz i Fortuniak 2012, Tomczyk i Bednorz 2014).

Kolejne badania monitoringu meteorologicznego były prowadzone w latach 2008-2010 w ramach projektu „Funkcjonowanie współczesnych geoeosystemów polarnych w otoczeniu Zatoki Petunia. Stan aktualny, zagrożenia, ochrona (Billefjorden, środkowy Spitsbergen”, kierowanego przez Józefa Szpikowskiego i finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Badania te wsparły dalsze rozważania nad rolą i tempem dynamiki procesów denudacyjnych w zlewniach zlodowaczonej Ebba i niezlodowaczonej Dynamisk (Szpikowski i in. 2014 a, b). Obecnie w latach 2013-2015 realizowany jest program „Reakcje kriosfery w kontrastowych warunkach wysokoarktycznych Svalbardu na tle zmian środowiskowych”, kierowany przez Grzegorza Rachlewicza i finansowany przez Narodowe Centrum Nauki. Badania meteorologiczne są wykorzystane m.in. do wyjaśnienia zagadnień termicznych na lodowcu Pollock (fot. 2, ryc. 1), który dokumentowany jest zdjęciami termowizyjnymi. Równolegle były prowadzone badania nad bilansem masy i termiką lodowca Sven w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki „Ewolucja lodowców Ziemi Dicksona (Svalbard) po zakończeniu Małej Epoki Lodowej oraz ich aktualny stan i funkcjonowanie” kierowanego przez Jakuba Małeckiego (fot. 3, ryc. 1). Od 2013 r., w ramach projektu „Reakcje kriosfery w kontrastowych warunkach wysokoarktycznych Svalbardu na tle zmian środowiskowych”, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, podjęto próbę wprowadzenia całorocznego, zuniifikowanego systemu rejestrującego warunki meteorologiczne oraz termikę i wilgotność czynnej warstwy zmarzliny dla otoczenia dwóch stacji badawczych: Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w Zatoce Petunia oraz Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, na równinie Kaffioyra, na zachodnim wybrzeżu wyspy. Całoroczne obserwacje nawiązują do wcześniejszych instalacji automatycznych stacji meteorologicznych oraz tyczek ablacyjnych na lodowcach, służących modelowaniu ich funkcjonowania (m.in. Rachlewicz 2003b, 2009, Małecki 2013, 2015).

Jednym z kierunków badawczych rozwijanych w ostatnich latach w ośrodku poznańskim jest dendroklimatologia w oparciu o analizy dendrochronologiczne krzewinek polarnych prowadzonych przez Agatę Buchwał. Tundrowe gatunki, takie jak wierzba polarna, brzoza polarna, czy dębik ośmiopłatkowy, wykazujące przyrosty roczne pierścieni w obrębie części podziemnych i nadziemnych roślin, stanowią doskonale archiwum zmian warunków środowiskowych, zapisanych z rozdzielczością roczną. Wiek badanych roślin przekracza 50 lat (Buchwał i in. 2013), choć najstarszy znaleziony okaz może liczyć nawet ponad 120 lat (Buchwał, inf. ustna). Zapis dendrochronologiczny i dendroklimatyczny odnosi się zatem do okresu sięgającego początków meteorologicznych obserwacji instrumentalnych na Svalbardzie, a nawet go przekracza. Właściwe odczytanie zmienności przyrostów drewna przyczynia się do lepszego udokumentowania zmian klimatycznych, zwłaszcza w okresie schyłku Małej Epoki Lodowej i przejścia do warunków cieplejszych (Myers-Smith i in. 2015), co wykazano z użyciem danych z poznańskiego obszaru badań.

Z kolei badania prowadzone na obszarze Wyspy Disko (Grenlandia Zachodnia), przy użyciu danych meteorologicznych (o pokrywie śnieżnej i zlodzeniu morza) na ponad stuletniej chronologii uzyskanej w oparciu o brzozę polarną (Holleesen i in. 2015), wskazały na wysoki i pozytywny związek

nie tylko z temperaturami lata, ale również z okresami ocieplenia występującymi podczas zim jak i znaczną grubością pokrywy śnieżnej.



Fot. 1. Stały posterunek meteorologiczny przy Skottehytta na wschodnim wybrzeżu Zatoki Petunia (fot. G. Rachlewicz)

Photo 1. Permanent weather station Skottehytta on the eastern coast of the Petunia Bay (photo G. Rachlewicz).



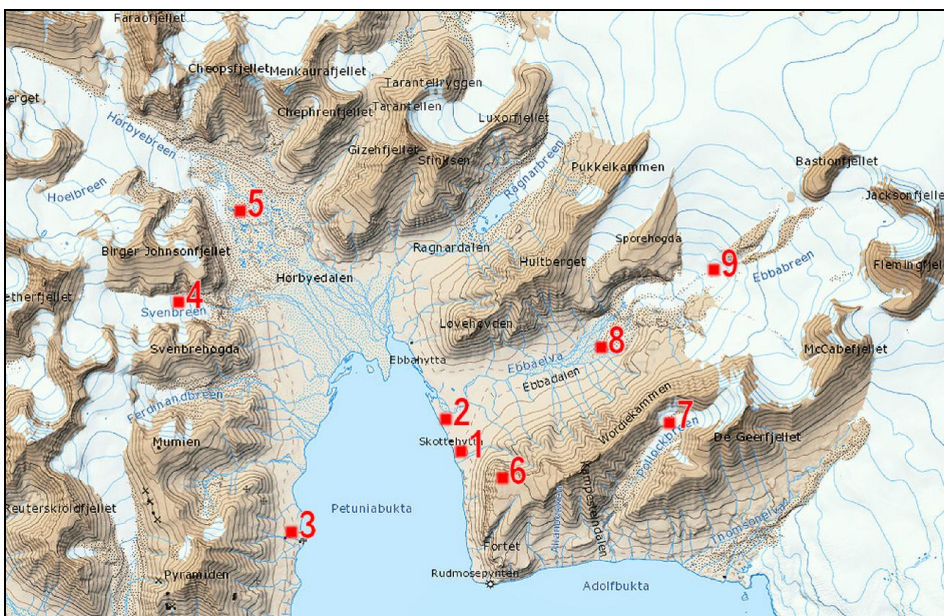
Fot. 2. Tymczasowy posterunek meteorologiczny na lodowcu Pollock (fot. G. Rachlewicz)

Photo 2. Temporary weather station on the Pollock Glacier (photo G. Rachlewicz).



Fot. 3. Tymczasowy posterunek meteorologiczny na lodowcu Sven (fot. Archiwum)

Photo 3. Temporary weather station on the Sven Glacier (photo Archive).



Ryc. 1. Położenie stacji meteorologicznych i bazy wypraw Uniwersytetu Poznańskiego (Skottehytta) w Zatoce Petunia, Billefjorden, Spitsbergen Środkowy (źródło mapy: <http://toposvalbard.npolar.no/>).

1 – główna stacja meteorologiczna, Skottehytta (1985-2014), 2 – główna stacja meteorologiczna AMUPS (2012-2015), 3 – główna stacja meteorologiczna AMUPS II (od 2015), 4 – czasowa stacja meteorologiczna, Svenbreen (2010-2012), 5 – czasowe poletko pomiaru temperatury gruntu, przedpole Horbyebeen (1986), 6 – czasowa stacja meteorologiczna, Wordiekamen (2005-2010), 7 – czasowa stacja meteorologiczna, Pollockbreen (2013-2015), 8 – czasowa stacja meteorologiczna, przedpole Ebbabreen (2005-2010), 9 – czasowa stacja meteorologiczna, linia równowagi lodowca na Ebbabreen (2005-2010)

Fig. 1. Location of meteorological station and the base of Poznań University Expeditions (Skottehytta) in Petunia Bay, Billefjorden, Central Spitsbergen (based on map: <http://toposvalbard.npolar.no/>).

1 – main meteorological station, Skottehytta (1985-2014), 2 – main meteorological station AMUPS (2012-2015), 3 – main meteorological station AMUPS II (since 2015), 4 – temporary meteorological station, Svenbreen (2010-2012), 5 – temporary ground temperature plot, Horbyebeen foreland (1986), 6 – temporary meteorological station, Wordiekamen (2005-2010), 7 – temporary meteorological station, Pollockbreen (2013-2015), 8 – temporary meteorological station, Ebbabreen foreland (2005-2010), 9 – temporary meteorological station, equilibrium line altitude (ELA) on Ebbabreen (2005-2010).

Wieloletnie polarne badania z zakresu meteorologii i klimatologii w poznańskiej bazie ekspedycji arktycznych w okolicach Zatoki Petunia przyczyniły się do powstania syntetycznych opracowań na temat dynamiki procesów glaciologicznych, a konkretniej zaniku lodowców (Rachlewicz i in. 2007b) i powiązania tych zjawisk z procesami zmian geomorfologicznych (Kostrzewski i in. 2007a, b, Zwoliński i in. 2008a, b, Rachlewicz i in. 2012, Rachlewicz i in. 2015) jak również zmian krajobrazowych (Zwoliński i in. 2008a, b, Kostrzewski, Zwoliński 2013). Szereg innych prawidłowości o zmienności pogody i klimatu w okolicach Zatoki Petunia sformułowano w opracowaniu monograficznym pod redakcją Zwolińskiego i in. (2013). Podobnie dla obszaru antarktycznego, choć w oparciu o znacznie krótszy okres obserwacji meteorologicznych udokumentowano zmienność procesów denudacyjnych na obszarze paraglacialnym oazy Arctowskiego w zlewni zlodowaczonej Potoku Ekologia oraz zlewniach niezlodowaczonych Potoku Skamieniały Las, Potoku Bezimienego i Potoku Ornitologów (Zwoliński

2007a, Zwoliński i in. 2016). Wypracowana metodyka monitoringu meteorologicznego na stacji Skottehytta pozwoliła także na opracowanie metodyki monitoringu hydrologicznego w zlewniach polarnych (Zwoliński 2007b).

Literatura

- Bednorz E., 2011. Occurrence of winter air temperature extremes in central Spitsbergen. *Theoretical and Applied Climatology*, 106 (3-4): 547-556.
- Bednorz E., Fortuniak K., 2012. Coreless winters in the European sector of the Arctic and their synoptic conditions. *Polish Polar Research*, 33 (1): 19-34.
- Bednorz E., Kolendowicz L., 2010. Summer 2009 thermal and bioclimatic conditions in Ebba Valley, central Spisbergen. *Polish Polar Research*, 31 (4): 327-348.
- Buchwał A., Rachlewicz G., Fonti P., Cherubini P., Gaertner H., 2013. Temperature modulates intra-plant growth of *Salix polaris* from a high Arctic site (Svalbard). *Polar Biology* 06, DOI: 10.1007/s00300-013-1349-x.
- Gonera P., Rachlewicz G., 1997. Snow cover in the vicinity of Arctowski Station, King George Island, in winter 1991. *Polish Polar Research*, 18 (1): 3-14.
- Hollesen J., Buchwał A., Rachlewicz G., Hansen B.U., Hansen M.O., Stecher O., Elberling B., 2015. Winter warming as an important co-driver for *Betula nana* growth in Western Greenland during the past century. *Global Change Biology*, DOI: 10.1111/gcb12913
- Karczewski A., 1988. Flowing water effect on temperature in outwash deposits. *Permafrost 5th International Conference Proceedings*, vol. 1, Tapir Publishers, Trondheim, Norway: 596-598.
- Karczewski A., Rachlewicz G., 1998. Typy pokryw morenowych i galcifluwalnych zachodniego skrzydła strefy marginalnej lodowca Hansa (Hornsund, Spitsbergen). III Seminarium Geneza, Litologia i Stratygrafia Utworów Czwartorzędowych, Poznań: 55-57.
- Karczewski A., Rachlewicz G., 2000. Procesy depozycyjne w strefie marginalnej lodowca Hansa (Spitsbergen). V Zjazdu Geomorfologów Polskich, UMK Toruń: 224-225.
- Kostrzewski A., Kapuściński J., Klimczak R., Kaniecki A., Stach A. and Zwoliński Z., 1989: The dynamics and rate of denudation of glaciated and non-glaciated catchments, central Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 10 (3): 317-367.
- Kostrzewski A., Rachlewicz G., Zwoliński Zb., 2007a. Present-day geomorphological activity in the Arctic. [w:] A.Kostrzewski, Zb.Zwoliński (red.), *Geodiversity of polar landforms, Landform Analysis*, 5: 41-46.
- Kostrzewski A., Rachlewicz G., Zwoliński Zb., 2007b. Zmiany funkcjonowania geosystemów lądowych Arktyki. [w:] A. Styszyńska, A.A. Marsz (red.), *Zmiany klimatyczne w Arktyce i Antarktyce w ostatnim pięćdziesięcioleciu XX wieku i ich implikacje środowiskowe*. Akademia Morska w Gdyni, Komitet Badań Polarnych Polskiej Akademii Nauk, Gdynia: 289-309.
- Kostrzewski A., Zwoliński Zb., 2013. Geoeosystems of Spitsbergen – basis for assignment, landscape metamorphosis. W: Zb.Zwoliński, A.Kostrzewski, M.Pulina (red.), *Ancient and modern geoeosystems of Spitsbergen*. Polish geomorphological research. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 404-414.
- Malecki J., 2013. Elevation and volume changes of seven Dickson Land glaciers, Svalbard, 1960-1990-2009. *Polar Research*, 32, 18400.
- Malecki J., 2015. Glacio-meteorology of Ebbabreen, Dickson Land, central Svalbard, during 2009-2010 melt seasons. *Polish Polar Research*, 35 (2): 145-161.
- Mazurek, M., Paluszkiwicz, R., Rachlewicz, G., Zwoliński, Zb., 2012. Variability of Water Chemistry in Tundra Lakes, Petuniabukta Coast, Central Spitsbergen, Svalbard. *The Scientific World Journal*, 596516: 1-13. doi:10.1100/2012/596516.

- Myers-Smith I.H., Elmendorf S.C., Beck P.S.A., Wilking M., Hallinger M., Blok D., Tape K.D., Rayback S.A., Macias-Fauria M., Forbes B.C., Speed J.D.M., Boulanger-Lapointe N., Rixen C., Lévesque E., Schmidt N.M., Baittinger C., Trant A.J., Hermanutz L., Collier L.S., Dawes M.A., Lantz T.C., Weijers S., Jørgensen R.H., Buchwal A., Bura A., Naito A.T., Ravolainen V., Schaepman-Strub G., Wheeler J.A., Wipf S., Guay K.C., Hik D.S., Vellend M., 2015. Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome. *Nature Climate Change*, July 2015, DOI: 10.1038/NCLIMATE2697.
- Paluszkiwicz Re., Mazurek M., Rachlewicz G., Zwoliński Zb., 2008. Hydrogeochemia zagłębień tundrowych na podniesionych terasach morskich, Petuniabukta, Spitsbergen Środkowy. [w:] A. Kowalska, A. Latocha, H. Marszałek, J. Pereyma (red.), *Środowisko przyrodnicze obszarów polarnych*, GAJT Wyd. s.c., Wrocław: 141-149.
- Przybylak R., Arażny A., Gluza A., Hojan M., Migala K., Sikora S., Zwoliński Zb., 2006. Porównanie warunków meteorologicznych na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w sezonie letnim 2005 r. *Problemy Klimatologii Polamej*, 16: 125-138.
- Przybylak R., Arażny A., Nordli O., Finkelnburg R., Kejna M., Budzik T., Migala K., Sikora S., Puczko D., Rymer K., Rachlewicz G., 2014. Spatial distribution of air temperature on Svalbard during 1 year with campaign measurements. *International Journal of Climatology*, 34 (14): 3702-3719.
- Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Maszewski R., Gluza A., Hojan M., Migala K., Sikora S., Siwek K., Zwoliński Zb., 2007a. Zróżnicowanie warunków meteorologicznych na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w sezonie letnim i jego przyczyny. [w:] W. Majewski (red.), *Struktura, ewolucja i dynamika litosfery, kriosfery i biosfery w europejskim sektorze Arktyki oraz w Antarktyce (2004-2007)*. IGF PAN, Warszawa: 46-48.
- Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Maszewski R., Gluza A., Hojan M., Migala K., Sikora S., Siwek K., Zwoliński Zb., 2007b. Porównanie warunków meteorologicznych na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w sezonie letnim 2006 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki (eds.): *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*. Wyd. Zakł. Klim. UMK Toruń: 179-196.
- Rachlewicz G., 1995. Ablacja lodowca Ekologii, Wyspa Króla Jerzego (Szetlandy Południowe), w roku 1991. XXII Sympozjum Polarne, Wrocław-Książ: 62-68.
- Rachlewicz G., 1997. Mid-winter thawing in the vicinity of Arctowski Station, King George Island. *Polish Polar Research*, 18 (1): 15-24.
- Rachlewicz G., 2001. Wybrane procesy glacialne w warunkach morskiego klimatu Antarktyki na przykładzie Kopyty Lodowej Warszawy, Wyspa Króla Jerzego (Szetlandy Południowe). [w:] A. Karczewski, Zb. Zwoliński (red.), *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach klimatycznych – monitoring, ochrona, edukacja*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 443-452.
- Rachlewicz G., 2003a. Warunki meteorologiczne w Zatoce Petunia (Spitsbergen środkowy) w sezonach letnich 2000 i 2001. *Problemy Klimatologii Polamej*, 13: 127-138.
- Rachlewicz G., 2003b. Uwarunkowania środowiskowe obiegu wody w systemie lodowca Hörbye (środkowy Spitsbergen). [w:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), *Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych, tom III*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 351-365.
- Rachlewicz G., 2009. Contemporary sediment fluxes and relief changes in high Arctic glacierized valley systems (Billefjorden, central Spitsbergen). *Wydawnictwo Naukowe UAM Poznań*: 1-203s.
- Rachlewicz G., Kostrzewski A., Marciniak M., Szpikowski J., Zwoliński Zb., 2012. The function of contemporary physical geography processes in polar regions. W: P. Churski (red.), *Contemporary Issues in Polish Geography*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 95-110.
- Rachlewicz G., Kostrzewski A., Kasprzak L., Zwoliński Zb., 2007a. Funkcjonowanie geosystemów glacialnych i periglacialnych w otoczeniu zatoki Petunia, Środkowy Spitsbergen. W: W. Majewski (red.), *Struktura, ewolucja i dynamika litosfery, kriosfery i biosfery w europejskim sektorze Arktyki oraz w Antarktyce (2004-2007)*. IGF PAN, Warszawa: 49-52.
- Rachlewicz G., Rygielski W., Sprutta M., 1988. Wyprawa naukowa Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza „Svalbard '87”. *Spektrum 1-2 //*: 267-272.

- Rachlewicz G., Styszyńska A., 2007. Porównanie przebiegu temperatury powietrza w Petuniabukta i Svalbard-Lufthavn (Isfjord, Spitsbergen) w latach 2001-2003. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 17: 121-134.
- Rachlewicz G., Szczuciński W., 2008. Changes in permafrost active layer thermal structure in dry polar climate (Petuniabukta, Svalbard). *Polish Polar Research*, 29 (3): 261-278.
- Rachlewicz G., Szczuciński W., Ewertowski M., 2007b. Post-“Little Ice Age” retreat rates of glaciers around Billefjorden in central Spitsbergen, Svalbard, *Polish Polar Research*, 28 (3): 159-186.
- Rachlewicz G., Szpikowska G., Szpikowski J., Zwoliński Zb., 2015. Solute and particulate fluxes in catchments in Spitsbergen. [w:] A.A. Beylich, J. Dixon, Zb. Zwoliński (red.), *Source-to-Sink Fluxes in Undisturbed Cold Environments*. Cambridge University Press, in print.
- Rachlewicz G., Zwoliński Zb., 2008. Przygotowania do Międzynarodowego Roku Polarnego w okolicach Zatoki Petunia, Spitsbergen Środkowy. *Biuletyn Polarny*, 14: 23-26.
- Rachlewicz G., Zwoliński Zb., Kostrzewski A., Birkenmajer K., 2013. Geographical environment in the vicinity of the Adam Mickiewicz University in Poznań Polar Station – Petuniabukta. [w:] Zb. Zwoliński, A. Kostrzewski, M. Pulina (red.), *Ancient and modern geocosystems of Spitsbergen*. Polish geomorphological research. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 199-237.
- Szpikowski J., Szpikowska G., Zwoliński Zb., Kostrzewski A., 2014a. Magnitude of fluvial transport and rate of denudation in a non-glacierised catchment in a polar zone, Central Spitsbergen. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 96: 447–464. doi:10.1111/geoa.12070.
- Szpikowski J., Szpikowska G., Zwoliński Zb., Rachlewicz G., Kostrzewski A., Marciniak M., Dragon K., 2014b. Character and rate of denudation in a High Arctic glacierized catchment (Ebbaelva, Central Spitsbergen). *Geomorphology*, 218: 52-62. doi:10.1016/j.geomorph.2014.01.012.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2014. Warm waves in north-western Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 35 (3): 497-511.
- Zwoliński Zb., 1992. Pierwsza automatyczna rejestracja wybranych elementów meteorologicznych na Stacji Arctowskiego zimą 1990. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 50-60.
- Zwoliński Zb., 2002. Uwarunkowania klimatyczne aktywności geomorficznej, Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Południowe. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12: 33-63.
- Zwoliński Zb., 2007a. Mobilność materii mineralnej na obszarach paraglacialnych, Wyspa Króla Jerzego, Antarktyka Zachodnia. *Wyd. Nauk. UAM, Ser. Geogr.*, 74: 1-266.
- Zwoliński Zb., 2007b. Polarny monitoring hydrologiczny – propozycja metodyczna. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 8: 29-39.
- Zwoliński Zb., Kejna M., Rachlewicz G., Sobota I., Szpikowski J., 2016. Solute and sedimentary fluxes on King George Island. [w:] A.A. Beylich, J. Dixon, Zb. Zwoliński (red.), *Source-to-Sink Fluxes in Undisturbed Cold Environments*. Cambridge University Press, in print.
- Zwoliński Zb., Kostrzewski A., Pulina M. (red.), 2013. *Ancient and modern geocosystems of Spitsbergen*. Polish geomorphological research. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 1-456.
- Zwoliński Zb., Kostrzewski A., Rachlewicz G., 2008a. Environmental changes in the Arctic. [w:] S. Singh., L. Starkel, H.J. Syiemlieh (red.), *Environmental Changes and Geomorphic Hazards*, Bookwell, Delhi: 23-36.
- Zwoliński Zb., Kostrzewski A., Rachlewicz G., 2008b. Przejawy globalnego ocieplenia w polarnej strefie krajobrazowej. [w:] W. Florek, J. Kaczmarzyk (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*. *Landform Analysis*, 9: 21-24.
- Zwoliński Zb., Mazurek M., Paluszkiwicz Re., Rachlewicz G., 2008. The matter fluxes in the geocosystem of small tundra lakes, Petuniabukta coast, Billefjorden, Central Spitsbergen. [w:] A.A. Beylich, K.-H. Schmidt (red.), *Sedimentary Source-to-Sink-Fluxes and Sediment Budgets in Changing Cold Environments*, *Zeit. Geomorph. N.F.*, 52, Suppl. 1: 79-101.

Zwoliński Zb., Rachlewicz G., Mazurek M., Paluszkiewicz Re., 2007. The geoecological model for small tundra lakes, Ebbadalen, Central Spitsbergen. [w:] A. Kostrzewski, Zb. Zwoliński (red.), Geodiversity of polar landforms, Landform Analysis, 5: 113-118.

Wpłynęło: 3 listopada 2015 r., poprawiono: 10 listopada 2015 r., zaakceptowano: 15 listopada 2015 r.

Summary

His paper presents the history of meteorological investigation and climatic studiem conducted by employees of the Adam Mickiewicz University In Poznań on two extreme polar regions, ie. The High Arctic and the Maritime Antarctic. These observation mainly included summer periods in the Arctic and 4-year series of observation in Antarctica. They studied climatic conditions of present-day deglaciation processes due to global climate anomalies.

Key words. polar research, meteorology and climatology, Arctic, Antarctic, Spitsbergen.