

Datowania izotopowe skał z Wyspy Króla Jerzego (Antarktyka Zachodnia) za pomocą mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC

Jerzy Nawrocki¹, Magdalena Pańczyk¹



J. Nawrocki



M. Pańczyk

The Polish Geological Institute's – NRI isotope dating of rocks from King George Island (Western Antarctica) by means of the SHRIMP IIe/MC ion microprobe. *Prz. Geol.*, 72: 740–743; doi: 10.7306/2024.58

Abstract. King George Island is essentially composed entirely of volcanogenic rock formations. Until the beginning of research in this area by the Polish Geological Institute – NRI, the volcanic rocks were dated mainly by the K-Ar method, which turned out to be highly insufficient. Initially, dating of volcanic rocks using the SHRIMP methods was performed in cooperation with the National Australian University in Canberra, and then continued at the Micro-Area Laboratory in Warsaw (PGI-NRI). These newly obtained ages change substantially the existing stratigraphic chart of King George Island. Additionally, our new isotopic and palaeomagnetic studies support research on the development of glaciers in Antarctica, as well as on climate changes.

Keywords: Geochronology, SHRIMP, West Antarctica

Wyspa Króla Jerzego, stanowiąca przed pliocenem integralną część Półwyspu Antarktycznego, została utworzona niemal wyłącznie z formacji wulkanogenicznych (ryc. 1 i 2). Niezbyt miąższe wkładki skał klastycznych występują tylko w niektórych jej miejscach. Nieliczne są też niewielkie wgłębne intruzje skał kwaśnych. Powszechnie są natomiast wystąpienia mniej lub bardziej rozległych, pionowych żył skał zasadowych i obojętnych. Wśród skał klastycznych zdefiniowano również i te pochodzenia glacialnego, związane z trzema kenozoicznymi zlodowaceniami Antarktydy, które nastąpiły jeszcze przed plejstocenem (patrz np. Birkenmajer, 2002, 2003; Smellie i in., 2021a).

Do 2007 r., czyli do chwili rozpoczęcia badań w Antarktyce Zachodniej przez Państwowy Instytut Geologiczny – PIB (PIG-PIB), skały magmowe były datowane głównie metodą K-Ar, co na obszarze trwającej od późnej jury subdukcji, skutkującej wieloma fazami aktywności magmowej, okazało się wysoce niewystarczające. Należało zatem szerzej zastosować inne metody izotopowe, wykorzystujące układy pierwiastków mniej wrażliwych

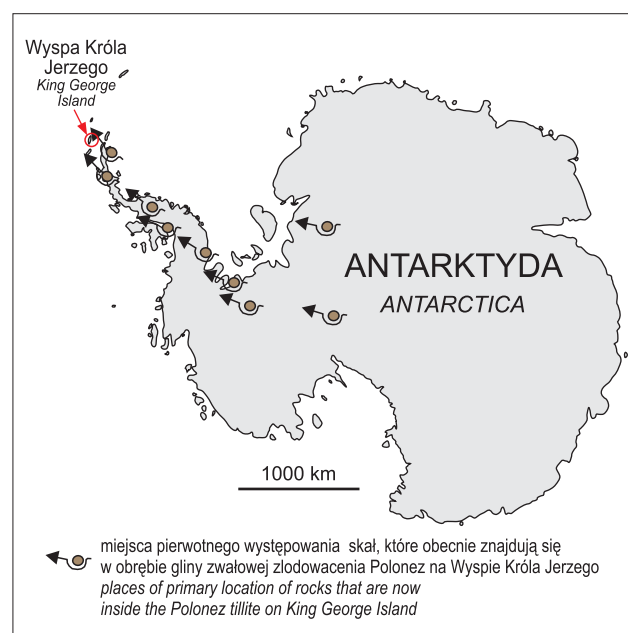
na wzrost temperatury i generalnie procesy pomagmowe. I takiego właśnie zadania podjął się zespół naukowców uczestniczących w czterech polskich wprawach antarktycznych, które odbyły się w styczniu–lutym 2007, 2009, 2019 i 2022 r. Dwie pierwsze wyprawy pracowników PIG-PIB i analizy były finansowane ze środków Komitetu Badań Naukowych (grant indywidualny) oraz międzynarodowego projektu *Antarctic Climate Evolution* (ACE). Kolejne były związane z realizacją zadania państwowej służby geologicznej.

Datowania skał wulkanogenicznych wykonywano we współpracy z dr. Ianem Williamsem, w ramach grantu KBN i projektu ACE, za pomocą mikrosondy jonowej SHRIMP IIe

→

Ryc. 1. Lokalizacja Wyspy Króla Jerzego na tle mapy konturowej Antarktydy. Strzałkami zaznaczono miejsca, z których lądolód zlodowacenia Polonez pobrał materiał skalny i przetransportował w postaci eratyków skalnych do osadów formacji Polonez na Wyspie Króla Jerzego (wg Nawrockiego i in., 2021)

Fig. 1. Location of King George Island on the Antarctica contour map. The arrows mark the places, from which the Polonez continental ice sheet plucked the rock material and transported it in the form of rock erratics to the sediments of the Polonez Formation on King George Island (after Nawrocki et al., 2021)



¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; jerzy.nawrocki@pgi.gov.pl; ORCID ID: J. Nawrocki – 0000-0003-2724-0103; M. Pańczyk – 0000-0001-9435-8481



Ryc. 2. Skały wulkanogeniczne w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej im. Henryka Arctowskiego na Wyspie Króla Jerzego. Na pierwszym planie są widoczne wulkanity zaliczane do formacji Arctowski Cove, natomiast należące do formacji Point Thomas odsłaniają się powyżej stacji. Z prawej strony za fiordem Ezcurra są niemal pionowe ściany wulkanitów formacji Znosko Glacier
Fig. 2. Volcanogenic rocks in the vicinity of the Arctowski Polish Polar Station on King George Island. Rocks of the Arctowski Cove Formation are visible in the foreground, while these belonging to the Point Thomas Formation crop out above the station buildings. On the right, beyond the Ezcurra Inlet, the volcanic rocks of the Znosko Glacier Formation form an almost vertical wall

należącej do Narodowego Uniwersytetu Australijskiego (*Australian National University*, Canberra). Kolejne analizy wieku izotopowego U-Pb cyrkonów wykonano mikrosondą SHRIMP IIe będącą od 2014 r. na wyposażeniu PIG-PIB. Poza tym rodzajem datowań izotopowych do ustalenia pozycji chronostratygraficznej formacji wulkanogenicznych wykorzystano metodę $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$, a także magnetostratygrafię. Dotychczas, korzystając z tego urządzenia, metodą U-Pb analizowano wiek izotopowy cyrkonów z 22 próbek skalnych z Wyspy Króla Jerzego. Nowe dane geochronologiczne przyczyniły się do wprowadzenia znaczących zmian (Nawrocki i in., 2010, 2011; Pańczyk, Nawrocki, 2011a) w pozycji chronostratygraficznej większości jednostek litostratygraficznych (ryc. 3) wyróżnionych przez Birkenmajera (2003). Inne też okazały się wieki pionowych intruzji w południowej i środkowej części Wyspy Króla Jerzego (Pańczyk i in., 2009). Ustalono też wiek najstarszej fazy aktywności Wulkanu Pingwina w Cieśninie Bransfielda, co umożliwiło ściślejsze określenie czasu otwarcia tego akwenu morskiego, oddzielającego dzisiaj Sztetlandy Południowe od Półwyspu Antarktycznego (Pańczyk, Nawrocki, 2011b).

Skałami przyciągającymi na Wyspę Króla Jerzego wielu badaczy są zwłaszcza te związane z kenozoicznymi

złodowaczeniami Antarktydy. Istotnymi problemami, z których część wciąż nie jest rozwiązana, są tutaj – wiek najstarszego złodowaczenia kenozoicznego, korelacja osadów polodowcowych z krzywą izotopowo-tlenową oraz rozległość lądolodów. Jednakże zasadniczym problemem pozostaje do dziś kwestia, dlaczego Antarktyda uległa rozległemu złodzeniu jeszcze w eocenie, wkrótce po środkowo-eoceńskim optimum klimatycznym.

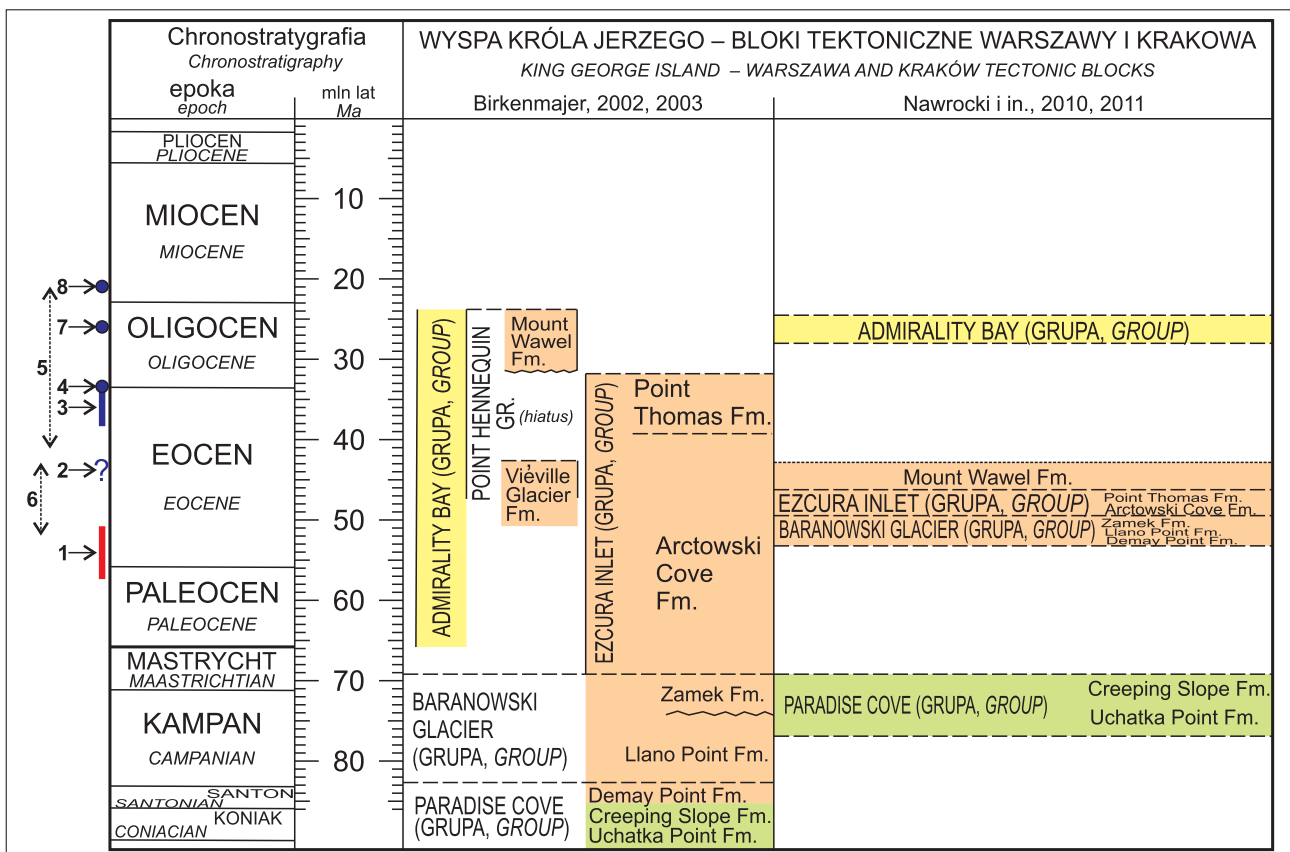
Lodowce górskie rozwijały się na Antarktydzie już w kredzie (np. McKay i in., 2022), co nie jest niczym nadzwyczajnym na lądzie rozpościerającym się już wówczas wokół południowego bieguna geograficznego, a także w wielu miejscach pokrytym łańcuchami wysokich gór. Na Wyspie Króla Jerzego za osady lodowca górskiego uznano diamiktyt z zatoki Herve (Birkenmajer i in., 2005), otoczony wulkanitami wieku 48–49 mln lat (Nawrocki i in., 2011). Glacialna geneza tego osadu jest jednak podważana (Smellie i in., 2021b). Najszerzej znane z tej wyspy osady glacio-geniczne kontynentalnego złodowaczenia Polonez (ryc. 4; Birkenmajer, 1982, 1990) są datowane na ok. 26,7 mln lat, a samo złodowaczenie korelowane ze stadiem Oi2b na krzywej izotopu tlenu (Smellie i in., 2021b). Było to złodowaczenie z bardzo rozległą pokrywą lodową, ponieważ źródło datowanych izotopowo metodą U-Pb egzotyków

znajdowało się nawet w centralnych rejonach Antarktydy (ryc. 1; Nawrocki i in., 2021). Zespół naukowców PIG-PIB nadal prowadzi badania miejsc pochodzenia otoczków glacialnych na podstawie ich datowania izotopowego i analizy porównawczej ze skałami pochodzącymi z wnętrza kontynentu. Dotyczą one nie tylko egzotyków z utworów glacialnych zlodowacenia Polonez, lecz również miocenijskiego zlodowacenia Mellville, a także jeszcze młodszego zlodowacenia, datowanego na ok. 10 mln lat (Smellie i in., 2021a).

Od dłuższego już czasu uważa się, że do powstania kenozoicznej pokrywy lodowej przyczynił się morski prąd wokółantarktyczny, który izoluje termicznie Antarktydę i wody ją okalające od wpływu cieplejszych wód oceanicznych (Kennet, 1977). Problemem jest jednak fakt, że prąd ten mógł się w pełni rozwinąć, gdy została otwarta Cieśnina Tasmańska, czyli 34 mln lat temu (Kennet, Exon, 2004), a pierwsze zlodowacenia kontynentalne zapisane w osadach szelfu Antarktydy nastąpiły 37–38 mln lat temu (ryc. 3;

Scher i in., 2014). Co więcej, krzywa eustatyczna wskazuje, że wiązanie wody przez lodowce kontynentalne mogło się rozpocząć już 45 mln lat temu, chociaż w przypadku tej interpretacji istnieje ryzyko nieuwzględnienia wpływu na jej przebieg między innymi zmian hipsometrii dna oceanicznego natury tektonicznej (Miller i in., 2020).

Biorąc pod uwagę wymienione ograniczenia interpretacyjne, a także udowodnione wynikami nowych datowań izotopowych fakt ogromnej kondensacji stratygraficznej sekwencji wulkanogenicznej z Wyspy Króla Jerzego (ryc. 3), sprowadzającej jej główną masę właśnie do neuralgicznego dla klimatu Antarktydy przedziału wiekowego 52–43 mln lat, postawiono tezę, że jednym z czynników prowadzących do kenozoicznego ochłodzenia klimatu Antarktydy i inicjacji rozwoju tam pokryw lodowych był intensywny wulkanizm (Nawrocki i in., 2011). Należy podkreślić, że zjawiska wulkaniczne wieku eocenijskiego wystąpiły też w innych miejscach Wyspy Króla Jerzego i Szetlandów Południowych (Bastias i in., 2023), jak również w wielu rejonach zachodniej części Antarktydy (Thomson i in., 1991). Pyły wulka-



Ryc. 3. Jednostki litostratygraficzne formacji wulkanogenicznych w centralnej części Wyspy Króla Jerzego i ich umiejscowienie w tabeli chronostratygraficznej wg Birkenmajera (2002, 2003) oraz Nawrockiego i in. (2010, 2011). Na skali chronostratygraficznej umiejscowiono również istotne elementy związane z historią kenozoicznych zlodowaceń Antarktydy (zob. tekst): **1** – paleocenijsko-eocenijskie optimum klimatyczne; **2** – pierwsze zlodowacenia kontynentalne wnioskowane z zapisu na krzywej eustatycznej; **3** – pierwsze zlodowacenia kontynentalne wnioskowane z zapisu w osadach na szelfie; **4** – otwarcie Cieśniny Tasmańskiej, powstanie prądu wokółantarktycznego, pierwsze zlodowacenie, które objęło najprawdopodobniej całą Antarktydę; **5** – okres otwierania się Cieśniny Drake’a; **6** – okres najintensywniejszych zjawisk wulkanicznych na Wyspie Króla Jerzego; **7** – zlodowacenie Polonez; **8** – zlodowacenie Mellville

Fig. 3. Lithostratigraphic units of the volcanogenic sequence from the central part of King George Island and their chronostratigraphic location after Birkenmajer (2002, 2003) and Nawrocki et al. (2010, 2011). Selected geological events relevant for the history of Cenozoic glaciation of Antarctica are also presented (see text): **1** – Paleocene–Eocene climatic optimum; **2** – first continental glaciation according to eustatic data; **3** – first continental glaciation recorded in shelf sediments; **4** – opening of the Tasmanian Passage, creation of the circum-Antarctic current, first glaciation of entire Antarctica; **5** – period of opening of the Drake Passage; **6** – period of the most intense volcanic activity on King George Island; **7** – Polonez glaciation; **8** – Mellville glaciation



Ryc. 4. Osady glacialne formacji Polonez na Wyspie Króla Jerzego, odsłaniające się na Grzbiecie Chopina
Fig. 4. Glacial sediments of the Polonez Formation, cropping out at the Chopin Ridge (King George Island)

niczne mogły zatem izolować Antarktydę od dopływu ciepła, w tym przypadku słonecznego, już wcześniej niż prąd wokółantarktyczny.

Autorzy serdecznie dziękują dr. Jakubowi Bazarnikowi za recenzję tego krótkiego artykułu.

LITERATURA

BASTIAS J., CHEW D., VILLANUEVA C., RILEY T., MANFROI J., TREVISAN C., LEPPE M., CASTILLO P., POBLETE F., TETZNER D., GIULIANI G., LOPEZ B., CHEN H., ZHENG G-G., ZHAO Y., GAO L., RAUCH A., JANA R. 2023 – The South Shetland Islands, Antarctica: Lithostratigraphy and geological map. *Front. Earth Sci.*, 10: 1002760.
 BIRKENMAJER K. 1982 – Report on geological investigations of King George Island and Nelson Island (South Shetland Islands, West Antarctica), in 1980–1981. *Stud. Geol. Pol.*, 74: 175–197.
 BIRKENMAJER K. 1990 – Geochronology and climatostratigraphy of Tertiary glacial and interglacial successions on King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica. *Zent. Geolog. Palaeontol.*, 1: 141–152.
 BIRKENMAJER K. 2002 – Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica Geological Map 1:50 000. PAN.
 BIRKENMAJER K. 2003 – Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica): A geological monograph. [W:] K. Birkenmajer (red.), *Geological results of the Polish Antarctic expeditions, part XIV*. *St. Geol. Pol.*, 120: 1–75.
 BIRKENMAJER K., GAŹDZICKI A., KRAJEWSKI K.P., PRZYBYCIN A., SOLECKI A., TATUR A., YOON H.I. 2005 – First glaciers in West Antarctica. *Pol. Polar Res.*, 26: 3–12.
 KENNETT J.P. 1977 – Cenozoic Evolution of Antarctic Glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and Their Impact on Global Paleoceanography. *J. Geoph. Res.*, 82 (27): 3843–3860.
 KENNETT J.P., EXON N. 2004 – Paleoceanographic evolution of the Tasman Seaway and its climatic implications. *Geoph. Monogr.*, 151: 345–367.
 MCKAY R., ESCUTIA C., DE SANTIS L., DONDA F., DUNCAN B., GOHL K., GULICK S., HERNANDEZ-MOLINA J., HILLEBRAND C-D., HOCHMUTH K., KIM S., KUHN G., LARTER R., LEITCHENKOV R., LEVY R.H., NAISH T.R., O'BRIEN P., PEREZ L.F., SHEVENELL A.E., WILLIAMS T. 2022 – Cenozoic history of Antarctic glaciation and climate from onshore and offshore studies. [W:] Florindo F., Sievert M., De Santis L., Naish T. (red.), *Antarctic Climate Evolution*. Elsevier: 41–164.

MILLER K.G., BROWNING J.V., SCHMELZ W.J., KOPP R.E., MOUNTAIN G.S., WRIGHT J.D. 2020 – Cenozoic sea-level and cryospheric evolution from deep-sea geochemical and continental margin records. *Sci. Adv.*, 6 (20): eaaz1346; <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz1346>
 NAWROCKI J., PAŃCZYK M., WILLIAMS I.S. 2010 – Isotopic ages and palaeomagnetism of selected magmatic rocks from King George Island (Antarctic Peninsula). *J. Geol. Soc., London*, 167: 1063–1079.
 NAWROCKI J., PAŃCZYK M., WILLIAMS I.S. 2011 – Isotopic ages of selected magmatic rocks from King George Island (West Antarctica) controlled by magnetostratigraphy. *Geol. Quart.*, 55 (4): 301–322.
 NAWROCKI J., PAŃCZYK M., WÓJCIK K., TATUR A. 2021 – U-Pb isotopic ages and provenance of some far-travelled exotic pebbles from glaciogenic sediments of the Polonez Cove Formation (Oligocene, King George Island). *J. Geol. Soc., London*, 178 (2); doi: 10.1144/jgs2020-113
 PAŃCZYK M., NAWROCKI J. 2011a – Geochronology of selected andesitic lavas from the King George Bay area (SE King George Island). *Geol. Quart.*, 55 (4): 301–322.
 PAŃCZYK M., NAWROCKI J. 2011b – Pliocene age of the oldest basaltic rocks of Penguin Island (South Shetland Islands, northern Antarctic Peninsula). *Geol. Quart.*, 55 (4): 335–344.
 PAŃCZYK M., NAWROCKI J., WILLIAMS I.S. 2009 – Isotope age constraint for the Blue Dyke and Jardine Peak subvertical intrusions of King George Island, West Antarctica. *Pol. Polar Res.*, 30: 379–391.
 SCHER H.D., BOHATY S.M., SMITH B.W., MUNN G.H. 2014 – Isotopic interrogation of suspected late Eocene glaciation. *Paleoceanography*, 29 (6): 628–644; doi: 10.1002/2014PA002648
 SMELLIE J.L., MCINTOSH W.C., WHITTLE R., TROEDSON A., HUNT R.J. 2021a – A lithostratigraphical and chronological study of Oligocene–Miocene sequences on eastern King George Island, South Shetland Islands (Antarctica), and correlation of glacial episodes with global isotope events. *Antar. Sci.*, 33 (5): 502–532.
 SMELLIE J.L., HUNT R.J., MCINTOSH W.C., ESSER R.P. 2021b – Lithostratigraphy, age and distribution of Eocene volcanic sequences on eastern King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Antar. Sci.*, 33 (4): 373–401.
 THOMSON M.R.A., CRAME J.A., THOMSON J.W. (red.) 1991 – *Geological evolution of Antarctica*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.

Praca wpłynęła do redakcji 19.11.2024 r.
 Akceptowano do druku 11.12.2024 r.