

Marek Grad

Instytut Geofizyki
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 7, 02-093 Warszawa

Wojciech Czuba, Aleksander Guterch

Instytut Geofizyki
Polska Akademia Nauk
ul. Ks. Janusza 64, 01-453 Warszawa

SEJSMICZNE BADANIA STRUKTURY SKORUPY ZIEMSKIEJ W REJONIE ARCHIPELAGU SVALBARD – WSPÓŁPRACA MIĘDZYNARODOWA, WYNIKI, PLANY NA PRZYSZŁOŚĆ

Pierwsi polscy naukowcy pojawili się na Archipelagu Svalbard podczas Drugiego Międzynarodowego Roku Polarnego 1932/1933. Przez cały rok działała wtedy trzyosobowa ekspedycja na Wyspie Niedźwiedziej. W roku 1957 w ramach Międzynarodowego Roku Geofizycznego została założona w fiordzie Hornsund na południowym Spitsbergenie polska stacja polarna, która od 1978 roku jest czynna cały rok, będąc w gestii Instytutu Geofizyki PAN. W roku 2008 w ramach IV Międzynarodowego Roku Polarnego polskie zespoły badawcze uczestniczyły w międzynarodowym projekcie pod nazwą „The Dynamic Continental Margin Between the Mid-Atlantic-Ridge System (Mohns Ridge, Knipovich Ridge) and the Bear Island Region”. Prowadzone w tym projekcie badania sejsmiczne są kontynuacją prowadzonych przez ostatnie 40 lat badań skorupy ziemskiej kontynentalnej krawędzi Archipelagu Svalbard. Obszar ten ma kluczowe znaczenie w poznaniu procesów geodynamicznych otwarcia Oceanu Atlantyckiego w Arktyce. Zachodnia i północna część archipelagu jest ograniczona pasywną krawędzią kontynentalną. Na zachód od archipelagu położony jest grzbiet Knipowicza z czynną strefą ryftową. Na wschodzie znajduje się szelfowe Morze Barentsa o głębokości sięgającej zaledwie 200 m.

W sierpniu 2008 roku na Północnym Atlantyku w rejonie Wyspy Niedźwiedziej (Fig. 1 – powołane w tym tekście ryciny znajdują się na płycie CD) przeprowadzone zostały badania sejsmiczne wzdłuż profilu BIS-2008 (Bear Island – South). Badania wykonały międzynarodowe zespoły z udziałem norweskiego statku m/s „Håkon Mosby” i polskiego statku m/s „Horyzont II”. Prace badawcze wykonano z wykorzystaniem oceanicznych dennych stacji sejsmicznych (Ocean Bottom Seismometers – OBS) rejestrujących sztucznie generowane fale. Na ich podstawie opracowany został model skorupy i górnego płaszcza Ziemi (Czuba *i in.*, 2011; Fig. 2a).

Profil BIS-2008 o długości 410 km przebiega od Wyspy Niedźwiedziej ku oceanicznej skorupie uformowanej wzdłuż grzbietu Mohns (Fig. 1). Północnwschodnia część modelu (Fig. 2a) reprezentuje typową skorupę kontynentalną, ścieniającą się od ok. 30 km pod Wyspą Niedźwiedzią do ok. 13 km w rejonie przejścia kontynent – ocean (COT – Continent-Ocean-Transition). Pomiędzy rozłamek Hornsundu (HFZ) i rozłamek Knølegga (KF) basen osadowy o grubości 3-4 km, skał wieku permskiego/karbońskiego, został wymodelowany pod warstwą wulkanitów o grubości ok. 1,5 km (Vestbakken Volcanic Province). Prędkości fal P

w dolnej skorupie kontynentalnej o grubości 3-4 km są znacząco większe od normalnych (ok. 7,5 km/s). Warstwę tę interpretujemy jako mieszaninę intruzji zasadowych (maficznych) i kontynentalnych bloków krystalicznych związanych z riftowaniem w paleocenie – wczesnym eocenie. Krystaliczna część skorupy w strefie przejścia kontynent – ocean (COT) zawiera ciało wysokich prędkości (7,3 km/s) o szerokości ok. 30 km i wysokości ok. 6 km. Ciało to interpretujemy jako grzbiet zserpentyzowanych perydotytów. Magmatyczna część skorupy oceanicznej powstałej w wyniku akrecji wzdłuż Grzbietu Knipowicza ok. 35-20 Ma po rozpadzie kontynentu jest 3-5 km grubsza od normalnej. Interpretujemy ją jako wynik zwiększonego magmatyzmu. Grubość magmatycznej części skorupy uformowanej wzdłuż Grzbietu Mohns ok. 20 Ma temu maleje do ok. 3 km, co jest wartością normalną dla ultra powolnych grzbietów (ultra slow spreading ridges).

W sejsmicznych badaniach refrakcyjnych na morzu rejestrowane pole falowe jest zdominowane przez fale propagujące się w wodzie – bezpośrednio i wielokrotnie odbite, które są zwykle traktowane jako fale zakłócające (Fig. 3). W pracach *Grad i in.* (2011, 2012) pokazaliśmy, jak fale te mogą być wykorzystane do określenia rozkładu prędkości dźwięku w wodzie oraz własności sprężystych przydennych osadów. 2D model rozkładu prędkości dźwięku w wodzie (Fig. 2b) został uzyskany na podstawie dziesiątków tysięcy czasów przebiegu fal bezpośrednich i wielokrotnych odbić. Wzdłuż profilu prędkość zmienia się od ok. 1450 m/s do ok. 1490 m/s. W górnych 400 m prędkość zmienia się w przedziale 1475-1455 m/s. Poniżej oceanicznej termokliny, prędkość maleje do wartości minimalnej 1450 m/s na głębokości ok. 1,5 km. Poniżej prędkość rośnie do ok. 1495 m/s na głębokości 2,5 km. Nasze wyniki porównane z pomiarami sondą CTD (Conductivity, Temperature, Depth) pokazują, że modelowanie odbić wielokrotnych z danych OBS mogą być użytecznym narzędziem w badaniach oceanograficznych (*Grad i in.*, 2011). Modelowanie amplitud fal może być źródłem dodatkowych informacji o kontraście prędkości fal podłużnych V_p między wodą i przydennymi osadami, a także stosunku prędkości fal podłużnych i poprzecznych V_p/V_s oraz współczynnika dobroci Q . Kontrast V_p został określony na ok. 250 m/s, z dokładnością ± 30 m/s. Wartość stosunku prędkości V_p/V_s w przydennych osadach osiąga wartości w przedziale 2,25–2,50, a Q przyjęto 1000 w wodzie oraz 30–50 i 40–50 w kolejnych warstwach osadowych (*Grad i in.*, 2012).

Dotychczasowa współpraca w ramach IV Międzynarodowego Roku Polarnego zaowocowała wieloma publikacjami (m.in. *Czuba i in.*, 2011; *Grad i in.*, 2011, 2012). Obecnie trwają przygotowania do szeroko zakrojonego programu geofizycznego o roboczej nazwie „Structure and Dynamics of the Ultra-Slow Spreading Knipovich Ridge – Spatial and Temporal Variations of Magmatic Processes”, w którym dominującą rolę będą odgrywać badania sejsmiczne. W dniach 21-22 maja 2012 roku odbył się w Bergen (Norwegia) workshop „Geological evolution of the Western Barents Sea Margin – Knipovich Ridge area: Status and challenges” (Fig. 4), poświęcony międzynarodowym badaniom geofizycznym w rejonie Archipelagu Svalbard oraz planom na przyszłość. Organizatorem spotkania był prof. Rolf Mjelde z Uniwersytetu w Bergen, a uczestniczyli w nim: Wojciech Czuba, Aleksander Guterch (Instytut Geofizyki PAN), Jan Inge Faleide (Unwersytet w Oslo), Marek Grad, Marcin Polkowski (Uniwersytet Warszawski), Frank Krüger (Uniwersytet w Potsdamie), Rolf Mjelde, Haflidi Haflidason, Berit Hjelstuen, Henk Keers, Audun Libak, Alexander Minakov (Uniwersytet w Bergen), Vera Schindwein, Mechita Schmidt-Aursch

(Instytut Alfreda Wegenera, Bremerhaven), Johannes Schweitzer, Myrto Pirli (NORSAR), Marco Brønner (Norweska S³uæba Geologiczna).

W programie planuje się długookresowe obserwacje za pomocą szerokopasmowych (broadband – BB) sejsmicznych stacji lądowych i dennych oraz wykonanie trójwymiarowych (3D) eksperymentów aktywnych na profilach wzdłuż i poprzek Grzbietu Knipowicha (ze szczególnym uwzględnieniem Logachev Seamount). Celem programu jest poznanie za pomocą różnych technik pomiarowych i interpretacyjnych dynamiki Grzbietu Knipowicza (ultra-slow ridge), jego historii tektonicznej, historii otwarcia Oceanu Atlantyckiego i dzisiejszej kinematyki płyt tektonicznych. Interpretacja lokalnych, regionalnych i dalekich trzęsień ziemi z wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów do lokalizacji zjawisk, obliczenia mechanizmów ognisk wstrząsów, interpretacji anizotropii fal SKS oraz fal powierzchniowych umożliwią określenie struktury i natury granicy Moho i LAB (lithosphere – asthenosphere boundary), a także wpływu pola naprężeń na dynamikę grzbietu.

Program ten jest otwarty dla nowych uczestników i zakłada udostępnienie obserwacji i wyników badań innym dziedzinom istotnym dla obszarów polarnych, takich jak: oceanografia i oceanologia, meteorologia, geodezja, geotermika, geomagnetyzm i geologia morska. Rejestracje sejsmografów dennych i hydrofonów mogą także zainteresować biologów morskich w związku z nagraniami dźwięków wydawanych przez ssaki morskie. Jest to projekt obliczony na lata, wymagający zastosowania dużej ilości nowoczesnego sprzętu i statków dostępnych jedynie w ramach współpracy międzynarodowej wielu instytucji naukowo-badawczych.

Podziękowania. *Prace eksperymentalne w rejonie Archipelagu Svalbard wykonane zostały w ramach panelu IV Międzynarodowego Roku Polarnego „Plate Tectonics and Polar Gateways”, w projekcie „The Dynamic Continental Margin Between the Mid-Atlantic-Ridge System (Mohns Ridge, Knipovich Ridge) and the Bear Island Region”. Eksperyment był finansowany przez Norwegian Research Council (NFR Project number 176069/S30), Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo (PGNiG) i Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W skład IPY-Project Group wchodzi: J. Schweitzer (NORSAR, Norwegia), R. Mjelde (Uniwersytet w Bergen, Norwegia), F. Krüger (Uniwersytet w Potsdamie, Niemcy), A. Guterch (Instytut Geofizyki PAN, Polska), M. Schmidt-Aursch (Instytut Alfreda Wegenera, Niemcy), M. Grad (Uniwersytet Warszawski, Polska), J.I. Faleide (Uniwersytet w Oslo, Norwegia).*

BIBLIOGRAFIA

- CZUBA W., GRAD M., MJELDE R., GUTERCH A., LIBAK A., KRÜGER F., MURAI Y., SCHWEITZER J. and THE IPY PROJECT GROUP 2011. Continent-ocean-transition across a rifted shear-margin: off Bear Island, Barents Sea. *Geophysical Journal International* 184: 541–554, doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04873.x.
- GRAD M., MJELDE R., CZUBA W., GUTERCH A., SCHWEITZER J. and THE IPY PROJECT GROUP 2011. Modelling of seafloor multiples observed in OBS data from the North Atlantic – new seismic tool for oceanography? *Polish Polar Research* 32(4): 405–422, doi:10.2478/v10183-011-0027-3.
- GRAD M., MJELDE R., CZUBA W., GUTERCH A. and THE IPY PROJECT GROUP 2012. Elastic properties of seafloor sediments from the modelling of amplitudes of multiple water waves recorded on the seafloor off Bear Island, North Atlantic. *Geophysical Prospecting*, doi: 10.1111/j.1365-2478.2011.01022.x



Część uczestników spotkania „Geological evolution of the Western Barents Sea Margin – Knipovich Ridge area: Status and challenges” na górze Fløyen z widokiem na Bergen (fot. J. Schweitzer)