

Maksymilian Twyrdy
**Metabazyty kopuły orlicko-śnieżnickiej – pochodzenie i ewolucja
tektonometamorficzna**
Streszczenie

W rozprawie przedstawiono wyniki badań terenowych i laboratoryjnych, tektonicznych, petrologicznych, w tym termobarometrycznych oraz geochemicznych, w tym izotopowych (Sm-Nd) metabazytów przede wszystkim wschodniej części i uzupełniająco z fragmentu zachodniej części kopuły orlicko-śnieżnickiej (KOŚ) w Sudetach. Obszar badań podzielono na dwa regiony: zachodni (Góry Bystrzyckie, GB) i wschodni (metamorfik Łądko-Śnieżnik, MLŚ), a następnie na mniejsze subregiony, w których niewielkie objętościowo ciała metabazytów, przybierając różne formy, występują w obrębie łupków łyszczykowych suprakrustalnej grupy Młynowca-Stronia. Obserwowano fragmenty potoków lawy, w tym o strukturze poduszkowej, kominów i zasilających dajek.

Na badanym obszarze wydzielono cztery odmiany litologiczne metabazytów: amfibolity laminowane, amfibolity smużyste/wstęgowane, amfibolity masywne i łupki amfibolowo-łyszczykowe. Amfibolity smużyste i łupki amfibolowo-łyszczykowe są bogatsze w łyszczyki, kwarc i plagioklaz w stosunku do amfibolitów laminowanych i masywnych, które natomiast akcesorycznie zawierają granaty.

Zbadanie chemizmu minerałów i wyznaczenie zespołów mineralnych znajdujących się w równowadze pozwoliło określić rodzaj reakcji metamorficznych i kolejność przeobrażeń. W warunkach wzrostu ciśnienia i temperatury doszło do dwuetapowej rekrytalizacji faz protolitu. Wyznaczone zespoły faz mineralnych skorelowano z rozpoznanymi strukturami tektonicznymi kolejnych faz deformacji (D_1 – D_4). Produkty pierwszego etapu metamorfizmu w warunkach facji zieleńcowej (M_1) zostały zachowane jako wrostki tworzące najstarszą foliację (S_1). Są one zawarte w minerałach budujących główną foliację metamorficzną (S_2), która powstała w kolejnym etapie metamorfizmu w facji epidotowo-amfibolitowej (M_2). Wzrost P i T do piku metamorficznego dokumentowany jest przez zonalność składu minerałów skałotwórczych. Retrogresja, ponownie w warunkach facji zieleńcowej (M_3), zanotowana przez obwódki na tych minerałach oraz przez żyłki chlorytowe tnące foliacje S_1 i S_2 .

Syntezy tektonicznie z etapami M_1 i M_2 protolit metabazytów ulegał pogrążaniu w skorupie i deformacji w reżimie kontrakcyjnym, powodującym ścinanie i fałdowanie o wergencji wschodniej (środkowa i wschodnia część MLŚ i GB) lub NE (N część MLŚ). Następnie, z powodu braku możliwości dalszego skracania tektonicznego, doszło do zmiany reżimu na przesuwczy o zmiennym zwrocie (D_3/M_3). Część ciał amfibolitowych nie zanotowała jednak deformacji przesuwczych, a całość skał kompleksu suprakrustalnego poddana została procesowi ekshumacji. Ostatecznie w reżimie nasuwczym powstały najmłodsze struktury deformacyjne świadczące o przemieszczeniach mas skalnych ponownie ku E lub NE. Wcześniejsze badania innych autorów również sugerują, że skały suprakrustalne w KOŚ były początkowo deformowane w reżimie kontrakcyjnym wzdłuż kierunku W-E. Dalszy scenariusz deformacji był jednak różnie interpretowany: albo jako ruchy transpresyjne, albo kontynuacja reżimu nasuwczego lub wycienianie nadległej skorupy.

Wyniki konwencjonalnych i izopletowych szacunków termobarometrycznych, odniesione do wyznaczonych reakcji metamorficznych i skorelowane z sekwencją struktur deformacyjnych, sugerują, że pierwszy etap metamorfizmu i deformacji

protolitu amfibolitów był jednolity dla całej KOŚ i zachodził w warunkach facji zieleńcowej. Dalsze skracanie tektoniczne i deformacje ścięciowe doprowadziły do maksymalnego pograżenia wszystkich ciał metabazytów z wyróżnionych subregionów, ale do różnych głębokości pogrzebienia: ok. 25-30 km (MLŚ) lub ~35 km (GB) oraz do podgrzania do ok. 650°C (MLŚ) lub 500°C (GB). Zaobserwowane znaczne rozbieżności warunków P-T dla amfibolitów poszczególnych subregionów sugerują, że w istocie są one jednostkami tektonicznymi w obrębie MLŚ, a wschodnia i zachodnia część KOŚ również stanowią osobne jednostki tektoniczne. Warunki maksymalnego pograżenia w poszczególnych subregionach są nieco zróżnicowane, co wskazuje na ich rozczłonkowanie w strukturze pogrubionego klina akrecyjnego. Ekshumacja skał w GB była dwuetapowa. Najpierw nastąpił niemal izotermiczny spadek ciśnienia do warunków facji amfibolitowej. W drugim etapie doszło do proporcjonalnego spadku P i T do warunków facji zieleńcowej lub prehnitowo-pumpellyitowej. Wydarzenia zrekonstruowane na podstawie struktur deformacyjnych i prawoskrętnych ścieżek P-T w metabazytach są typowe dla ewolucji tektonometamorficznej strefy kolizji kontynentalnej.

Analizy geochemiczne wykazały, że amfibolity laminowane i masywne to metatoleity o składzie różnie wzbogaconych MORB ($Nb/Yb = 1,35-3$; $[La/Yb]_{CN} < 6$; $Zr/Nb = 16,5-24$), natomiast amfibolity smużyste i łupki amfibolowo-łyszczkowe mają skład wzbogaconych w LREE metabazaltów alkalicznych ($Nb/Yb = 24-35$; $[La/Yb]_{CN} = 20,2-29$; $Zr/Nb = 3,5-4,7$). Pośrednim wzbogaceniem charakteryzują się bardzo podrzędnie występujące w KOŚ amfibolity w gnejsach ($Nb/Yb = 5-10$; $[La/Yb]_{CN} < 10,5$; $Zr/Nb \approx 8$). Protolit zarówno metatoleitów jak i metabazaltów alkalicznych powstał z magm wytopionych w niewielkim stopniu ze zubożonego, homogenicznego płaszcza typu DMM w warunkach facji spinelowej i stał się częścią skorupy oceanicznej o chemizmie MORB. Obliczone wieki modelowe Sm-Nd (0,85-0,73Ga) wskazują, że miało to miejsce synchronicznie z początkiem rozpadu neoproterozoicznego superkontynentu Rodinii. Skorupa oceaniczna zawierająca protolit metabazytów KOŚ uległa następnie subdukcji pod obrzeże kontynentu Gondwany i ponownemu przetopieniu. Protolit metatoleitów nie należał do kadomskiego kontynentalnego łuku magmowego, a układ izotopowy Sm-Nd nie został zresetowany w neoproterozoiku. W kambrze doszło do resetu układu Sm-Nd, podskorupowego podklejenia i częściowego topienia wycienionej skorupy. Doprowadziło to do bimodalnego wulkanizmu w basenie załukowym, stowarzyszonego z depozycją sukcesji suprakrustalne grupy Młynowca-Stronia, przy czym tufogeniczne, bazytowe produkty zostały lokalnie zanieczyszczone piroklastykami dostarczonymi przez kwaśne wulkany oraz materiałem pelitycznym równocześnie deponowanym w basenie. Poprzez porównanie z wynikami analiz izotopowych Sm-Nd nieskontaminowanych metatoleitów z GB wykazano, że metatoleity obu części KOŚ są równowiekowe i wyznaczają izochronę odpowiadającą wiekowi bimodalnego wulkanizmu ok. 511 ± 43 Ma. Wiek ten jest zgodny z publikowanymi w literaturze wynikami datowań U-Pb cyrkonów pochodzących z kwaśnych metawulkanitów.

Słowa kluczowe: metabazyty, geochemia, struktury deformacyjne, kopuła orlicko-snieżnicka, Sudety, waryscyjski metamorfizm.

Maksymilian Twyrdy

Metabasites of the Orlica-Śnieżnik Dome – provenance and tectonometamorphic evolution

Abstract

The study presents field and laboratory research and contains new structural, petrological, geochemical (including Sm-Nd isotopes) and thermobarometrical data gathered from metabasites (amphibolites) located chiefly in the eastern part and additionally in the small area of the western part of the Orlica-Śnieżnik Dome (OSD, the Sudetes). The study area was divided into two main units: the western unit (called the Bystrzyckie Mts. unit, GB) and the eastern unit (called the Łądek-Śnieżnik Metamorphic unit, MLS), and next into minor subunits, in which variously-shaped small-volume metabasite bodies are enclosed within mica schists of the supracrustal Młynowiec-Stronie Group. There are remnants of lava flows (including pillow lavas), volcanic pipes and feeding dykes.

Four petrographic types of amphibolites were distinguished in the studied area: laminated amphibolites, banded amphibolites, massive amphibolites and amphibole-mica schists. Banded amphibolites and amphibole-mica schists contain more micas, quartz and plagioclase than laminated and massive amphibolites. The latter two have also accessory garnets.

Studying chemical composition of rock-forming minerals and matching equilibrated mineral assemblages allowed to determine the possible metamorphic reactions could occur in the amphibolites. Pressure and temperature increase caused two-stage recrystallization of igneous minerals of the protolith. Resulted mineral assemblages were correlated with the recognized tectonic structures (D_1 - D_4). At first, minerals crystallized under greenschist facies conditions (M_1) define the oldest foliation (S_1). They form inclusions within minerals of the main foliation (S_2) that was developed thereafter under epidote-amphibolite facies conditions (M_2). Compositional zonation of rock-forming minerals of S_2 documents pressure and temperature increase to the peak conditions (M_2). The rims of S_2 minerals and chlorite-rich veins crossing S_1 + S_2 foliations denote retrogression to greenschist facies conditions (M_3).

Simultaneous with M_1 and M_2 , the burying of the protolith caused contraction linked with E-vergent (central and eastern MLS) or NE-vergent (N part of MLS) shearing and folding. Subsequently, because of lack of available space for advanced shortening, stress regime has changed into variably-directed strike-slip folding and faulting (D_3 / M_3). A part of amphibolite bodies did not preserve any strike-slip deformations, however, all of the supracrustal rocks in the OSD underwent exhumation. Finally, the youngest thrust-related structures indicate E- or NE-vergent movements. Previous works also suggest contraction along W-E direction as incipient tectonic regime that triggered deformation of the supracrustal series. Nevertheless, consecutive deformation scenario was interpreted disparately: either as transpression, continuation of thrusting regime, or attenuation of the overlying continental crust.

Conventional and unconventional thermobarometric results, correlated with determined metamorphic reactions and deformation sequences, suggest that the first deformation stage in amphibolites was uniform across the entire OSD and occurred under greenschist facies conditions. Continuing tectonic shortening and shearing caused maximal burial of all the amphibolites studied but to the different depths (ca. 25-30 km in MLS or ~35 km in GB) and heating (650°C in MLS or 500°C in GB). Large discrepancies in metamorphic conditions between amphibolites located in different units

and subunits prove their tectonic independence. Various pressure peak conditions of amphibolites in different subunits indicate they were discrete segments of a thickened accretion wedge. Amphibolites in GB experienced two-stage exhumation. The first stage involved near isothermal pressure drop to amphibolite facies conditions. Finally, there was a proportional pressure and temperature decrease to greenschist facies conditions. Single-stage exhumation of the MLS comprised an uplift of the unit to the depths corresponding to greenschist or prehnite-pumpellyite facies conditions. Tectonometamorphic history reconstructed basing on the deformation structures and clockwise P-T paths recognized in the metabasites are typical for a common collisional zone.

Geochemical analysis indicated that laminated and massive amphibolites corresponds to variously-enriched MORB-like metatholeiites ($Nb/Yb = 1.35-3$; $[La/Yb]_{CN} < 6$; $Zr/Nb = 16.5-24$), whereas banded amphibolites and amphibole-mica schists are alkali metabasalts with OIB-like affinities ($Nb/Yb = 24-35$; $[La/Yb]_{CN} = 20.2-29$; $Zr/Nb = 3.5-4.7$). Few amphibolite bodies enclosed within the infracrustal OSD gneisses are moderately-enriched ($Nb/Yb = 5-10$; $[La/Yb]_{CN} < 10.5$; $Zr/Nb \approx 8$). The protolith of the OSD metabasites was generated from magmas were partially melted at low degree from homogeneous, DMM, spinel-facies mantle, thereby, it became a part of an MORB-like oceanic crust. The calculated Sm-Nd model ages of the protolith (0.85-0.73Ga) suggest its formation simultaneously with onset of breakdown of the neoproterozoic Rodinia supercontinent. The protolith, together with hosting crust, subsequently underwent subduction under Gondwana margin and remelted. The Sm-Nd system did not reset before Cambrian, therefore the protolith could not belong to the Cadomian continental magmatic arc. In the middle Cambrian, there was a reset of Sm-Nd system suggesting melt generation. Attenuating continental crust became underplated by mafic melt and partially remelted. That process caused bimodal back-arc volcanism linked with synchronous deposition of supracrustal Młynowiec-Stronie Group sediments. Basic tuffs were locally contaminated by basinal pelitic material and by pyroclastic material derived from felsic volcanoes. A comparison between isotopic results of uncontaminated metatholeiites from GB and MLS indicates that they are of equal age and follow the isochron of 511 ± 43 Ma. Such age is in accordance with already published U-Pb zircon ages of felsic member of bimodal metavolcanogenic rocks occurring in the OSD.

Keywords: metabasites, geochemistry, Orlica-Śnieżnik Dome, Sudetes, Variscan metamorphism.