

## Wykorzystanie mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC do weryfikacji wieku skał krystalicznych w górach Chasagt (zachodnia Mongolia)

Antoni Wójcik<sup>1</sup>, Ewa Krzemińska<sup>1</sup>, Rafał Sikora<sup>1</sup>, Stanisław Z. Mikulski<sup>1</sup>, Zbigniew J. Czupyt<sup>1</sup>



A. Wójcik



E. Krzemińska



R. Sikora



S.Z. Mikulski



Z.J. Czupyt

**Using the SHRIMP IIe/MC ion microprobe at the PGI-NRI to verify the age of crystalline rocks from the Khasagt Mountains (western Mongolia).** *Prz. Geol.*, 72: 744–749; doi: 10.7306/2024.59

*Abstract.* Over 60 years ago, the first age determination of granitoids was performed by the potassium-argon method, initiating a long-standing tradition of geochronological investigations at the PGI, as well as field exploration by the Polish Geological Expeditions in Mongolia. However, the early results require verification due to advances in equipment and methodology.

One of the first projects carried out after the installation and commissioning of the SHRIMP ion microprobe at the PGI was the study of age of the several igneous rocks sampled in western Mongolia by a new Polish expedition. The fieldwork was carried out in the area of the Khasagt Mountains. The U-Pb SHRIMP analysis of the zircons revealed an emplacement age of the reddish granite and mafic granodioritic bodies in the range of 816–775 Ma, accompanied by second generation of igneous rocks intruded at 783–768 Ma. These new data document a widespread late Tonian magmatic activity in this area. Moreover, a much younger Middle Permian magmatic episode between 276 and 268 Ma has been recognized. All these results represent progress in the correlation of the Mongolian terranes and allow for a partial correction of the chronostratigraphic position of the units, updating the geological map of Mongolia.

**Keywords:** Zircon dating, Central Asian Orogenic Belt, Mongolian Terranes, Middle Permian magmatism, Late Tonian granitoids

Mongolia pod względem geologicznym jest jednym z ciekawszych regionów świata. Usytuowanie tego kraju w obrębie środkowoazjatyckiego pasa orogenicznego (*Central Asian Orogenic Belt* – CAOB) powoduje, że jest to intrygujący obszar pod względem badań podstawowych i strukturalnych oraz prac geologiczno-kartograficznych, a także perspektywiczny do poszukiwań surowców mineralnych. Skały pasa CAOB są dobrze eksponowane w zachodniej Mongolii, zwłaszcza w górach Altaj i sąsiednich pasmach górskich, jak Chasagt, przy czym współczesna topografia Altaju jest przede wszystkim efektem kenozoicznej transpresji naprężeń dalekiego pola, związanych z kolizją Indii i Eurazji (Cunningham i in., 2003). Budowa geologiczna i surowy, suchy klimat kontynentalny powodują, że Mongolia obfituje w wychodnie skał reprezentujących liczne proterozoiczne i paleozoiczne jednostki tektoniczne oraz pokrywających je młodszych skał osadowych czy intrudujących w nie mezozoicznych i kenozoicznych skał magmowych. Na obszarze tego kraju wyróżniono 44 terany (ryc. 1, Badarch i in., 2002). Ich skomplikowane relacje dobrze oddaje pojęcie mongolski kolaż (Soejono i in., 2023), wskazujące na obecność wielu jednostek odrębnych litologicznie i strukturalnie. Ich budowa geologiczna nie została jeszcze dokładnie zbadana.

Wiele z wcześniej ustalonych hipotez tektonicznych wymaga weryfikacji, szczególnie geochronologicznej z zastosowaniem nowoczesnych metod analitycznych. W trend ten wpisują się badania wieku U-Pb skał krystalicznych za pomocą mikrosondy jonowej SHRIMP IIe/MC (*Sensitive High Resolution Ion Microprobe II enhanced MultiCollector*). Jednym z pierwszych projektów, zrealizowanych w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) po zainstalowaniu w nim mikrosondy jonowej SHRIMP, były badania geochronologiczne skał z gór Chasagt (ang. *Khasagt*) w zachodniej Mongolii. Zbadano wówczas próbki cyrkonów reprezentujące 18 różnych skał magmowych i wykonano pierwsze w laboratorium PIG-PIB analizy geochronologiczne tytanitów.

Badania granitoidów mongolskich, w tym rozpoznawanie wieku tych skał, mają długą tradycję w Państwowym Instytucie Geologicznym (Rutkowski, 1970). Ponad 60 lat temu wykonano w nim po raz pierwszy analizy próbek zebranych przez Polską Ekspedycję Geologiczną w tzw. jeziornej części mongolskiego Altaju (Mongolia Zachodnia). Datowania metodą potasowo-argonową (K-Ar) koncentratów biotyty i amfibolu zrealizowano w PIG w 1963 r. (Rutkowski, Borucki, 1964). Chociaż od tego czasu

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; antoni.wojcik@pgi.gov.pl; ewa.krzeminska@pgi.gov.pl; rafal.sikora@pgi.gov.pl; stanislaw.mikulski@pgi.gov.pl; zbigniew.czupyt@pgi.gov.pl; ORCID: A. Wójcik – 0000-0002-0602-5837; E. Krzemińska – 0000-0002-6832-8104; R. Sikora – 0000-0001-9007-2910; S.Z. Mikulski – 0000-0002-9941-5630; Z.J. Czupyt – 0000-0002-3416-9475

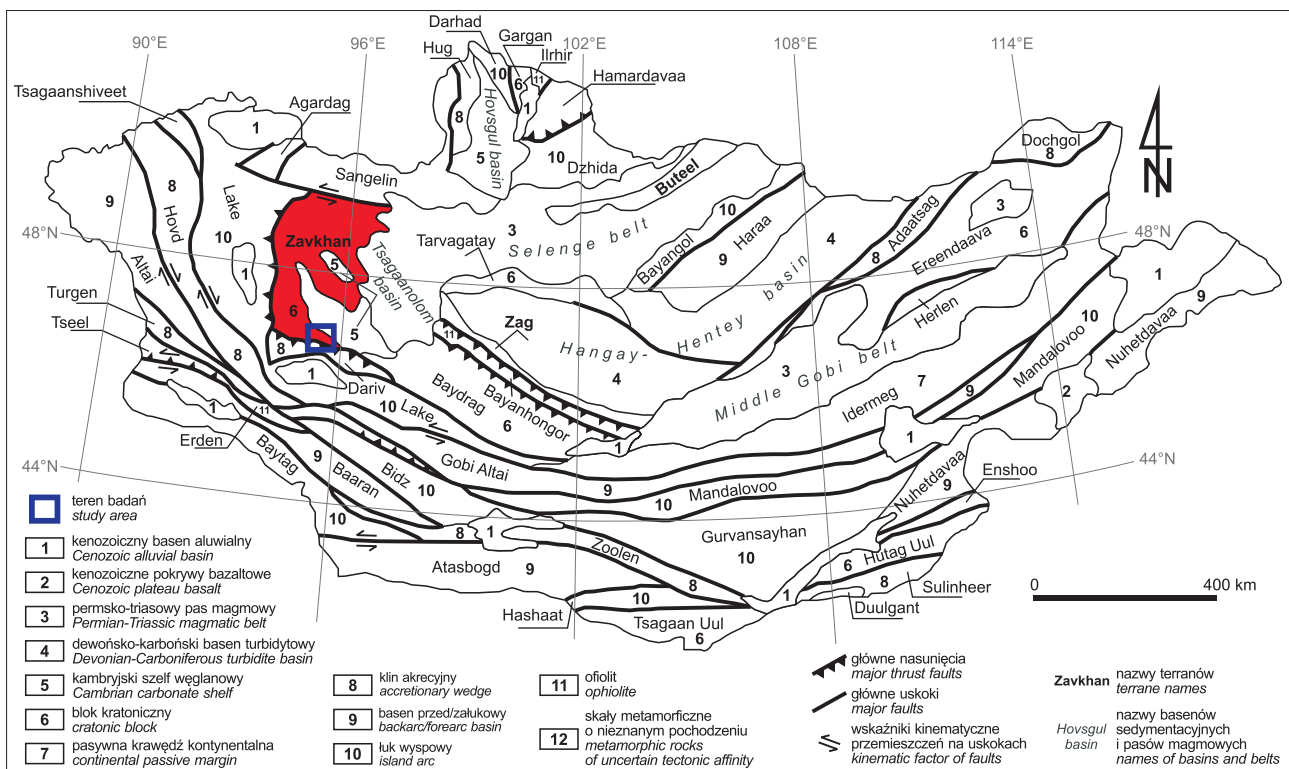
zaawansowanie technik analitycznych zmieniło się znacząco, cel badań, jakim jest wiedza na temat wieku skał, pozostał ten sam.

Do eksploracji zachodniej Mongolii polscy geolodzy powrócili po dłuższej przerwie – na przełomie pierwszej i drugiej dekady XXI w. Tym razem prace prospekcyjne złóż surowców mineralnych były efektem porozumienia między rządem Rzeczypospolitej Polskiej (reprezentowanym przez ministra środowiska) a rządem Mongolii (reprezentowanym przez ministra przemysłu i handlu), w sprawie sposobu uregulowania zadłużenia Mongolii wobec Rzeczypospolitej Polskiej. W wyniku umowy część tych środków mogła być przeznaczona na finansowanie badań prowadzonych na terenie Mongolii przez polskich geologów, w tym prac geologicznych koordynowanych przez PIG-PIB. Teren, na którym podjęto nowe prace geologiczne (długość geograficzna od 95°00'E do 95°45'E) był zlokalizowany w zachodniej Mongolii (ryc. 1), lecz nie pokrywał się z obszarem spenetrowanym przez pierwsze polskie ekspedycje (długość geograficzna od 91°45'E do 93°00'E).

Tradycyjnie na obszarze Mongolii wyróżnia się dwie główne jednostki geologiczne (tzw. domeny): północną i południową (Badarch i in., 2002), które są rozdzielone głównym lineamentem mongolskim, strukturą geologiczną o zasięgu regionalnym. Do jednostki północnej należą terrany skonsolidowane podczas orogenezy bajkalskiej, na przełomie proterozoiku i paleozoiku. Jednostkę południową tworzą zaś terrany, których konsolidacja nastąpiła podczas orogenezy łańcuchowej w górnym paleozoiku oraz na przełomie paleozoiku i mezozoiku (Badarch i in., 2002). Terrany te określa się również mianem łańcuchów. Skomplikowany układ bloków tektonicznych, których konsolidacja

nastąpiła w wyniku akrecji trwającej od proterozoiku po trias (1000–250 mln lat), a także towarzyszące jej procesy magmowe, skutkowałe ubytkiem skorupy oceanicznej i przyrostem skorupy kontynentalnej (Windley i in., 2007). Dane zebrane w ciągu ostatnich dekad ujawniły, że mikrokontynenty należące do CAOB mają złożoną strukturę wewnętrzną i składają się z bloków o różnym pochodzeniu i wieku (Badarch i in., 2002; Kröner i in., 2010, 2014, 2017; Xiao i in., 2015). Dlatego też istotnym elementem ułatwiającym poznanie ich ewolucji tektonicznej i korelacji wydarzeń są wyniki izotopowych badań wieku intruzji magmowych.

Zachodnia część gór Chasagt jest obszarem o niepotwierdzonej chronostratygrafii. Góry te należą do północnej jednostki geologicznej i stanowią SW krawędź proterozoicznego terranu Zavkhan na granicy z terranem jeziornym (*Lake terrane*). Według geologów mongolskich (Bold i in., 2016) masyw ten dzieli się na część autochtoniczną, reprezentowaną przez jednostkę Chasagt, oraz paraautochtoniczną jednostkę Urgamal. W jego wschodniej części znajduje się też element allochtoniczny, reprezentowany przez ultramaficzne skały pochodzące z terranu jeziornego (Enkhbayar i in., 2005; Bold i in., 2016). Struktura badanego terenu jest wynikiem skośnej kolizji w dolnym paleozoiku terranu Zavkhan z terranem jeziornym. W jej wyniku powstał skomplikowany obraz geologiczny, w którym poszczególne jednostki są na siebie ponasuwane w kierunku NE, co jest dokumentowane przede wszystkim przez liczne fałdy i nasunięcia (Sikora i in., 2016, 2019). Do rozpoznania czasu tych wydarzeń tektonicznych w skałach metasadowych na SW obrzeżeniu terranu Zavkhan



Ryc. 1. Mapa terranów tektonostratygraficznych Mongolii (według Badarch i in., 2002). Niektóre terrany kontynuują się na obszarze sąsiednich państw

Fig. 1. Map of tectonostratigraphic terranes of Mongolia (after Badarch et al., 2002). Note that some terranes continue into neighbouring countries

skuteczna okazała się niskotemperaturowa geochronologia K-Ar (Sikora i in., 2021).

Przedmiotem badań geochronologicznych były proterozoiczne skały magmowe należące do jednostki Urgamal oraz intruzje późnopaleozoiczne występujące w jednostce Chasagt. Wśród skał magmowych zaliczanych do jednostki Urgamal wyróżnia się ortokompleks Dund, rozciągający się w przybliżeniu równoleżnikowo, na który składają się granitoidy, w tym alkaliczne, poprzecinane licznymi dajkami mikrogranitowymi, gabrodiorytowymi oraz gabrami i diorytami. Na terenie badań występują również liczne wychodne diorytów masywu Ondor Ulanany Buet, linijnie wyciągnięte w kierunku WNW-ESE, i ryolitów Bajanbogd (Bayanbogd). Skałom tym przypisywano wiek neoproterozoiczny (kriogeński), przy czym geolodzy mongolscy przyjmowali, że intruzje w masywach Ondor Ulanany Buet i Bajanbogd są starsze od ortokompleksu Dund (Enkhbayar i in., 2005). Późniejsze intruzje, górnopaleozoiczne, którym pierwotnie przypisywano wiek wczesnodewoński, są reprezentowane przez ryolity, andezytodyty i andezyty w północnej części obszaru oraz kompleks granitoidowy Belehiriin Hudgin (Enkhbayar i in., 2005).

## METODY BADAŃ

Preparaty do badania wieku U-Pb próbek skał pobranych z odsłoneń w Mongolii wykonano w PIG-PIB w Warszawie. Do separacji cyrkonów i datowania mikrosondą jonową SHRIMP przeznaczono 22 próbki granitów, granodiorytów, diabazu oraz skał wulkanicznych. Stosowano konwencjonalne procedury separacji, do których zalicza się kruszenie skał, mielenie, przesiewanie, płukanie i użycie separatora magnetycznego oraz cieczy ciężkich, aż do uzyskania koncentratu, którego jakość sprawdzono za pomocą mikroskopu binokularnego. Dobrej jakości koncentraty cyrkonów uzyskano z 18 próbek skał. Z dwóch próbek wydobyto dodatkowo tytanity. Kryształy cyrkonu wypreparowane z 18 próbek ręcznie ułożono i zatopiono w żywicy epoksydowej wraz z cyrkonami referencyjnymi. Preparaty te przecięto w celu uzyskania dostępu do wnętrza ziaren cyrkonu i wypolerowano. Następnie wykonano szczegółową dokumentację fotograficzną budowy cyrkonów w świetle odbitym RL i przechodzącym TL pod mikroskopem optycznym *Nikon Eclipse LV100N POL* i badanie katodoluminescencyjne w mikroskopie skaningowym *Hitachi 3500* (ryc. 2C–D). Wyniki tych obserwacji

wykorzystano do zaplanowania lokalizacji analiz izotopowych.

W celu zweryfikowania hipotez o występowaniu w północnej jednostce Mongolii elementów archaicznych, szukano ewentualnych starszych, odziedziczonych środków cyrkonów. Łącznie zbadano 564 cyrkonony, sprawdzając możliwe populacje ziaren i zakresy wieku krystalizacji w każdej próbce. Ponadto oznaczono wiek 20 ziaren tytanitu pochodzących z dwóch próbek skał. Analizy izotopowe U-Pb przeprowadzono mikrosondą SHRIMP zgodnie z procedurą opisaną przez Willamsa (1998).

## WYNIKI BADAŃ WIEKU SKAŁ

W badanych cyrkonach pochodzących z ortokompleksu Dund, gdzie występuje asocjacja co najmniej 3 typów skał magmowych, nie stwierdzono oznak metamorfizmu w postaci obrastów w zewnętrznych partiach ziaren ani typowego składu  $Th/U < 0,1$ , sugerującego metamorficzną krystalizację. Poza jednym przypadkiem (ryc. 2D, F) nie odnotowano obecności starych, odziedziczonych cyrkonów. Bardzo intrygującym zagadnieniem jest współwystępowanie w tym kompleksie jasnych granitoidów i ciemnych gabr oraz gabrodiorytów, jednak ubogich w ziarna cyrkonu, przez co trudnych do datowania (Wójcik i in., 2017).

Oznaczenia izotopowe U-Pb cyrkonów z granitów ortokompleksu Dund (8 próbek) dość zgodnie wskazują na czas krystalizacji od 816 do 800 mln lat temu. Próbki skał reprezentujących niewielkie intruzje granitowe (dajki) w tym masywie (3 próbki), pobrane w dolinie potoku Chojt-Szarain-Gol (Orlogo Gorge – Khoid Sharga), dostarczyły wyników w wąskim zakresie 780–790 mln lat.

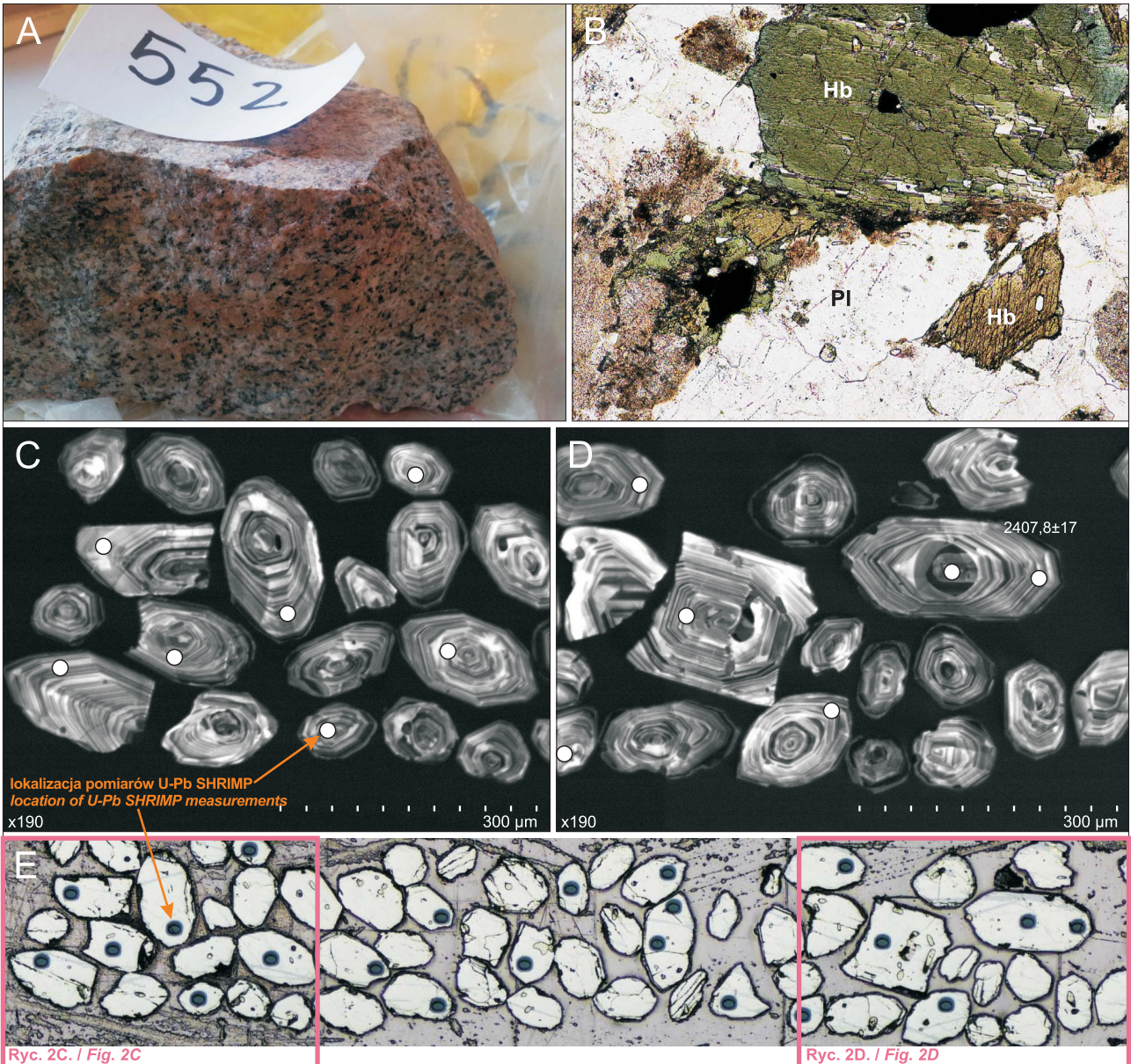
Na podobny wiek krystalizacji ( $784 \pm 14$  mln lat) wskazują wyniki analiz tytanitu. Jednak interpretacja tego wyniku pozostaje kwestią otwartą, ponieważ z uwagi na temperaturę zamknięcia układu izotopowego tytanitu w przedziale  $\sim 550\text{--}650^\circ\text{C}$  (Cherniak, 1993) dane dostarczają informacji o historii chłodzenia. Różnica wieku krystalizacji cyrkonu i tytanitu z tego samego granitoidu o ponad 10 mln lat wskazuje na przedłużoną ewolucję termiczną i rejestr raczej kolejnej fazy czy epizodu magmowego, np. intruzji mikrogranitoidów.

Nieco młodszy wiek próbki ( $768 \pm 4$  mln lat) uzyskano w masywie Bajanbogd (Bayanbogd). Generalnie wszystkie te wyniki – od 816 mln lat (na podstawie badania próbek granitoidów), łącznie z datami otrzymanymi po zbadaniu towarzyszących im mikrogranitów i ryolitów, do 768 mln

→

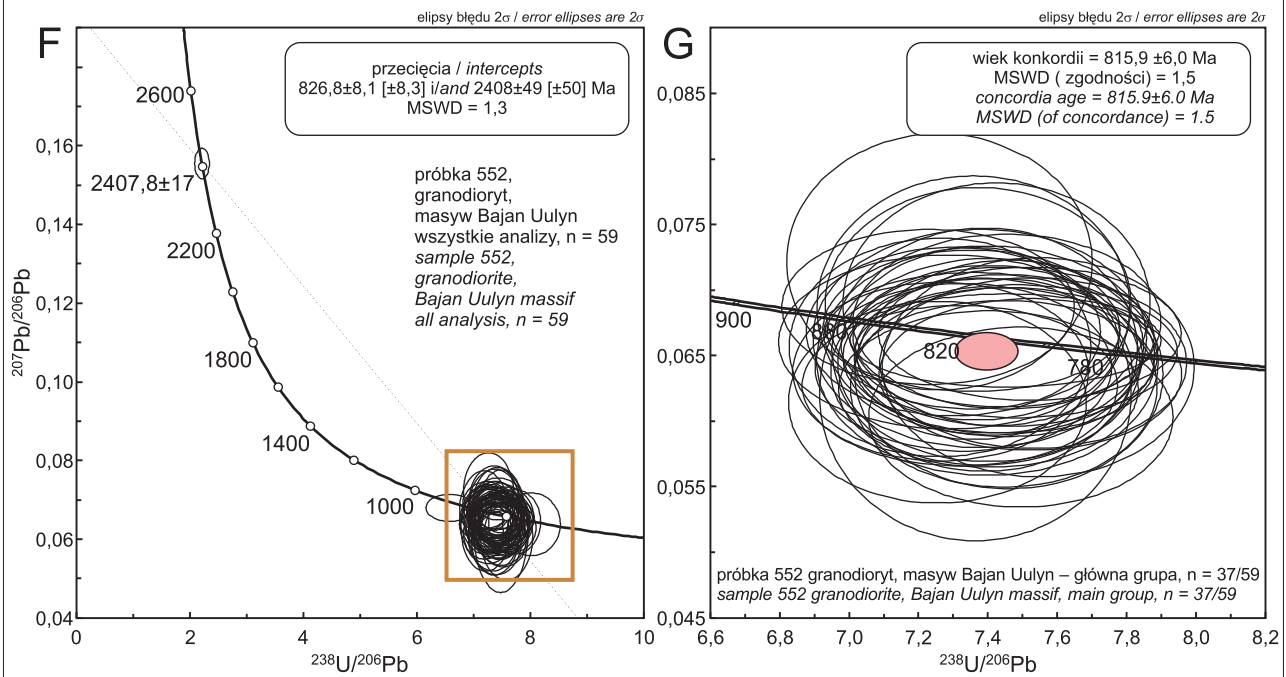
**Ryc. 2.** Graficzna dokumentacja badań geochronologicznych mikrosondą jonową o wysokiej rozdzielczości (SHRIMP): **A** – próbka granodioritu z gór Chasagt (nr 552) przed kruszeniem i procedurą separacji cyrkonu; **B** – podstawowy zespół minerałów granodioritu (próbka nr 552): **Hb** – hornblenda, **Pl** – plagioklaz; **C–D** – reprezentatywne obrazy cyrkonów SEM-CL – kropkami wskazano lokalizację analiz U-Pb; **E** – obrazy cyrkonów w świetle odbitym z widocznymi mikrokraterami po wykonaniu analiz SHRIMP; **F** – wykres konkordii Tera-Wasserburga wszystkich analiz cyrkonu  $n = 59$  z próbki granodioritu 552 z widocznymi mikrokraterami po wykonaniu analiz SHRIMP; **G** – powiększony wykres konkordii Tera-Wasserburga wybranych analiz cyrkonu wskazujących wiek konkordii

**Fig. 2.** Graphic documentation of geochronological research using the Sensitive High Resolution Ion Micro Probe (SHRIMP): **A** – granodiorite sample from the Khasagt Mountains (No. 552) before crushing and zircon separation procedure; **B** – main mineral assemblage of granodiorite 552; **C–D** – representative SEM-CL images of zircons with location of U-Pb analysis; **E** – images of zircons in reflected light – with visible micro craters after SHRIMP analyses; **F** – Tera–Wasserburg concordia plot of all zircon analyses  $n = 59$  from the granodiorite 552 sample; **G** – Tera–Wasserburg concordia plot of selected zircon analyses constraining the concordia age



Ryc. 2C. / Fig. 2C

Ryc. 2D. / Fig. 2D



lat w masywie Bajanbogd – dokumentują różnicę wieku prawie 50 mln lat. Wskazuje to na długi wczesneoproterozoiczny-środkowotoński (ton: 1000–720 mln lat) okres zasadniczej aktywności magmowej w górach Chasagt (Wójcik i in., 2019).

Badania U-Pb SHRIMP prowadzono systematycznie – w jednej próbce analizowano od 26 do 63 punktów (ryc. 2 F–G), taka statystyka jest zbliżona do zalecanej w technice laserowej ablacji La ICP MS, MC. Nowe datowania są też dość dokładne – błąd oznaczenia często wynosi  $\pm 3$ –5 mln lat. Wyniki przeprowadzonych badań dobrze korelują z datami wymienianymi w ostatnich latach w publikacjach innych badaczy eksplorujących sąsiednie obszary na zachód i wschód od rozległego terranu Zavkhan, m.in. Bold i in. 2016 (długość geograficzna 95°00'E–95°17'E i 96°50'E–96°66'E) oraz Soejono i in. 2023 (długość geograficzna 94°00'–94°20'E i 96°10'–96°20'E). Porównania dat są tu ułatwione, ponieważ w wymienionych lokalizacjach wiek oznaczono na podstawie badań cyrkonów.

Badaniom geochronologicznym mikrosondą SHRIMP poddano również próbki granitoidów pochodzących z masywu granitowego Belehiriin Hudgin na północy jednostki Chasagt (6 próbek), którym przypisywano dotychczas wiek dewoński (Enkhbayar i in., 2005). Datowania U-Pb tych próbek ujawniły jednak, że skały te powstały w środkowym permie – od 276  $\pm$  3 mln lat do 268  $\pm$  5 mln lat. Wyniki oznaczeń wskazują na inny wiek skał niż przyjęto na dotychczasowych mapach geologicznych. Jednak dość podobny wiek granitoidów (286  $\pm$  5 mln) udokumentowano niezależnie w występującej na wschód intruzji Tonkhil (Kilan i in., 2016). Wyniki te wskazują, że intruzja jest związana z tym samym wydarzeniem magmowym o szerszym zasięgu przestrzennym.

## PODSUMOWANIE

Nowe dane o wieku skał krystalicznych w górach Chasagt i ostatnio opublikowane wyniki badań terranu Zavhan zgodnie wskazują na dwa epizody magmatyzmu. Starszy, związany z utworzeniem migmatytów oraz diorytowo-granitowych intruzji we wczesnym neoproterozoiku (ton), 856–755 mln lat temu, był powszechny w górach Chasagt (Yarmolyuk i in., 2008; Levashova i in., 2010; Kozakov i in., 2012; Bold i in., 2016). Wyniki szczegółowych badań ujawniają istotne lokalne różnice, które mogą okazać się kluczowe w dalszej korelacji subterranych. Na przykład wczesnopaleozoiczny epizod, który wydarzył się 515–482 mln lat temu (Kozakov i in., 2002; Dijkstra i in., 2006; Jian i in., 2014), nie został udokumentowany w zachodniej części gór Khasaght. Rozpoznano za to wyraźnie młodszy, środkowopermski impuls magmowy (276–268 mln lat). Wydarzenie o podobnym wieku było notowane geochronologicznie (Kröner i in., 2010) w strefie Gobi-Altaj (*Gobi-Altai Zone, Southern Slope of Gichgene Ridge*). Permski magmatyzm w strefie Gobi-Altaj należy do wulkanizmu bimodalnego (bazalt i trachyryolit) z objętościowo dużymi intruzjami magm peralkalicznych, diorytów i gabr. Na badanym obszarze permskie wydarzenia magmowe (ok. 290 i 270 mln lat temu) były odpowiedzialne za duże zaburzenia termiczne, prowadzące do lokalnego topnienia skorupy i powstawania migmatytów (Kröner i in., 2010).

Oznaczenie z zastosowaniem mikrosondy SHRIMP wieku U-Pb skał magmowych z zachodniej części gór Cha-

sagt umożliwiła weryfikację wydzieleni chronostratygraficznych w tym obszarze, na co wskazano w raporcie z badań, który przekazano stronie mongolskiej (Wójcik, 2021). Uzyskane wyniki badań stanowią postęp w korelacji terranów wyróżnionych w tej części Mongolii. Obecnie trwają przygotowania do kolejnej serii badań izotopowych wieku formacji skalnych w nowym obszarze Mongolii.

Autorzy dziękują Recenzentom i Redakcji za konstruktywne uwagi merytoryczne.

## LITERATURA

- BADARCH G., CUNNINGHAM W.D., WINDLEY B. 2002 – A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. *J. Asian Earth Sci.*, 21: 87–110.
- BOLD U., CROWLEY J.L., SMITH E.F., SAMBUU O., MACDONALD F.A. 2016 – Neoproterozoic to early Paleozoic tectonic evolution of the Zavkhan terrane of Mongolia: Implications for continental growth in the Central Asian orogenic belt. *Lithosphere. Tectonics at the Micro- to Macroscale: Contributions in Honor of the University of Michigan Structure-Tectonics Research Group of Ben van der Pluijm and Rob Van der Voo. The Geological Society of America: 2–22.*
- CHERNIAK D.J. 1993 – Lead diffusion in titanite and preliminary results on the effects of radiation damage on Pb transport. *Chem. Geol.*, 110: 177–194.
- CUNNINGHAM W.D., DAVIES S., BADARCH G. 2003 – Crustal architecture and active growth of the Suta Range, western Mongolia: a major intracontinental, intraplate restraining bend. *J. Geodynamics*, 36: 169–191.
- DIJKSTRA A.H., BROUWER F.M., CUNNINGHAM W.D., BUCHAN C., BADARCH G., MASON P.R.D. 2006 – Late Neoproterozoic proto-arc ocean crust in the Dariv Range, Western Mongolia: A supra-subduction zone end-member ophiolite. *J. Geol. Soc.*, 163 (2): 363–373.
- ENKHBAYAR B., BATBOLD D., MONHNASAN C., SUMHUU D., OHIRHUAYAT C., BARSBOLD C. 2005 – Gobi-Altaj ajmagijn Bayan Uul, Jargalan sumdin nutagt 2003–2004 (sheets L-46-47 A, B, W, G –L-46-48 A, B). *Archive of Mineral Resources and Petroleum Authority of Mongolia, Ulaan-Baatar, n° 5660 (in Mongolian).*
- JIAN P.A., KRÖNER B.-M., JAHN B., WINDLEY F., SHI Y., ZHANG W., ZHANG F., MIAO L., TOMURHUU D., LIU D. 2014 – Zircon dating of Neoproterozoic and Cambrian ophiolites in West Mongolia and implications for the timing of orogenic processes in the central part of the Central Asian Orogenic Belt. *Earth Sci. Rev.*, 133: 62–93.
- KILIAN T.M., SWANSON-HYSELL N.L., BOLD U., CROWLEY J., MACDONALD F.A. 2016 – Paleomagnetism of the Teel basalts from the Zavkhan terrane: Implications for Paleozoic paleogeography in Mongolia and the growth of continental crust. *Lithosphere*, doi:10.1130/L522.1
- KOZAKOV I.K., SALNIKOVA E.B., KHAIN E.V., KOVACH V.P., BEREZHNYAYA N.G., YAKOVLEVA S.Z., PLOTKINA Y.V. 2002 – Early Caledonian crystalline rocks of the Lake Zone in Mongolia: formation history and tectonic settings as deduced from U-Pb and Sm–Nd datings. *Geotectonics*, 36: 156–166.
- KOZAKOV I.K., YARMOLYUK V.V., KOVACH V.P., BIBIKOVA E.V., KIRNOZOVA T.I., KOZLOVSKY A.M., PLOTKINA Y.V., FUGZAN M.M., LEBEDEV V.I., ERDENEJARGAL C.H. 2012 – The early Baikalian crystalline complex in the basement of the Dzabkhan microcontinent of the early Caledonian orogenic area. *Central Asia. Strat. Geol. Corr.*, 20: 231–239.
- KRÖNER A., LEHMANN J., SCHULMANN K., DEMOUX A., LEXA O., TOMURHUU D., ŠTIPSKÁ P., LIU D., WINGATE M. T. 2010 – Lithostratigraphic and geochronological constraints on the evolution of the Central Asian Orogenic Belt in SW Mongolia: Early Paleozoic rifting followed by late Paleozoic accretion. *American J. Sci.*, 310: 523–574.
- KRÖNER A., KOVACH V., BELOUSOVA E., HEGNER E., ARMSTRONG R., DOLGOPOLOVA A., SELTMANN R., ALEXEIEV D.V., HOFFMANN J.E., WONG J., SUN M., CAI K., WANG T., TONG Y., WILDE S.A., DEGTYAREV K.E., RYTSK E. 2014 – Reassessment of continental growth during the accretionary history of the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Res.*, 25: 103–125.
- KRÖNER A., KOVACH V., ALEXEIEV D., WANG K.-L., WONG J., DEGTYAREV K., KOZAKOV I. 2017 – No excessive crustal growth in the Central Asian Orogenic Belt: Further evidence from field relationships and isotopic data. *Gondwana Res.*, 50: 135–166.
- LEVASHOVA N.M., KALYGIN V.M., GIBSHER A.S., YFF J., RYABININ A.B., MEERT J.G., MALONE S.J. 2010 – The origin of the Baydaric microcontinent, Mongolia: constraints from paleomagnetism and geochronology. *Tectonophysics*, 485: 306–320.

- RUTKOWSKI E. 1970 – Działalność Polskiej Ekspedycji Geologicznej w Mongolii w latach 1961–1966. *Biul. Inst. Geol.*, 226: 1–20.
- RUTKOWSKI E., BORUCKI J. 1965 – Pierwsze datowania bezwzględne K-Ar granitoidów z Mongolii Zachodniej. *Kwart. Geol.*, 9 (3): 656–668.
- SIKORA R., MADEJ S., WÓJCIK A., NESCIERUK P. 2016 – Deformation structures of the Mesoproterozoic and the Neoproterozoic-Cambrian rocks of the Khasagt Massif (Western Mongolia) in the light of meso- and microstructural analysis. [W:] Wojewoda J. (red.), *Wyzwania Polskiej Geologii. 3. Polski Kongres Geologiczny, 14–18 września 2016, Wrocław. Abstrakty*: 344–345.
- SIKORA R., WÓJCIK A., BAZARNIK J. 2019 – Concepts of tectonic evolution of SW margin of the Zavkhan terrane in the Khasagt Mountains (Western Mongolia) – review. [W:] Hrdlickova K., Dankova L. (red.), 17<sup>th</sup> Meeting of the Central European Tectonic Groups, 24–26 April 2019, Rozdrojovice. *Abstract Volume*: 69.
- SIKORA R., WÓJCIK A., SZCZERBA M., BAZARNIK J., MADEJ S. 2021 – Zastosowanie metody K-Ar do oznaczenia wieku deformacji skał metaosadowych formacji Yargait terranu Zavkhan (Khasagt, Mongolia) – wstępne wyniki badań. *Prz. Geol.*, 69: 448–453.
- SOEJONO I., JANOUŠEK V., PERESTY V., SCHUMANN K., SVOJTKA M., HANZL P., JOHN M., HORA J.M., MÍKOVÁ J., ŠTÍPSKÁ P., GUY A., COLLETT S., OTGONBAATAR D. 2023 – From Rodinian passive margin to peri-Siberian continental arc: Evidence from the multiphase Neoproterozoic–early Paleozoic magmatic record of the Zavkhan Block in the Mongolian Collage. *Gondwana Res.*, 121: 344–367.
- WILLIAMS I.S. 1998 – U-Th-Pb geochronology by ion microprobe, in *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. [W:] McKibben M.A., Shanks III W.C., Ridley W.I. (red.), *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*, *Rev. Econ. Geol.*, 7: 1–35.
- WINDLEY B.F., ALEXEIEV D., XIAO W., KRÖNER A., BADARCH G. 2007 – Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt: *J. Geol. Soc.*, 164: 31–47.
- WÓJCIK A. 2021 – Mongol-Pol’sijn harilcaa, hamtyn ažillagaa: ôngôrsôn, odoó, ireeduj : sedevt olon ulsyn erdem šiužilgeenij бага hural / red. S. Battulga, D. Ônôrmaa. *Mongolia-Poland relations: past, present, future. International Conference, November 24, 2021, Ulaanbaatar, Mongolia.*
- WÓJCIK A., KRZEMIŃSKA E., SIKORA R., MIKULSKI S., CZUPYT Z. 2017 – Succession of Neoproterozoic granitoids of Khasagt (Western Mongolia). *Conference: VIII Polish Conference Petrological and mineralogical studies in geology, Cracow, Poland 1–2: Mineralogia – Sp. Papers*, 46: 64–65.
- WÓJCIK A., SIKORA R., KRZEMIŃSKA E., MIKULSKI S., NESCIERUK P. 2019 – New data on the age of magmatic rocks in the Khasagt Mts (Zavkhan terrane, Western Mongolia) 7<sup>th</sup> Meeting of the Central European Tectonic Groups, CETEG 2019, Rozdrojovice, 24–27 April, 2019.
- XIAO W., WINDLEY B.F., SUN S.H., LI J., HUANG B., HAN C.H., YUAN C.H., SUN M., CHEN H. 2015 – A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in Central Asia: Oroclines, sutures, and terminal accretion. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 43: 477–507.
- YARMOLYUK V.V., KOVALENKO V.I., KOZAKOV I.K., SALNIKOVA E.B., BIBIKOVA E.V., KOVACH V.P., KOZLOVSKY A.M., KOTOV A.B., LEBEDEV V.I., EENJIN G., FUGZAN M.M. 2008 – The Age of the Khangai batholith and the problem of batholith formation in Central Asia. *Doklady Earth Sci.*, 423 (8): 1223–1228.
- ZHAO Y., SONG B., ZHANG S.H. 2006 – The Central Mongolian microcontinent: Its Yangtze affinity and tectonic implications, in *Proceedings Symposium on continental growth and orogeny in Asia, Taipei, Taiwan*: 135–136.

Praca wpłynęła do redakcji 30.10.2024 r.  
Akceptowano do druku 25.11.2024 r.