

3. Paleogeografia platformy wschodnioeuropejskiej na tle globalnej tektoniki

Jan Golonka¹, Jan Barmuta¹, Maria Barmuta¹, Sławomir Bębenek¹, Dariusz Botor¹, Bartosz Papiernik¹, Kaja Pietsch¹, Szczepan Porębski¹, Tadeusz Słomka¹

¹Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków

3.1. Wstęp

Globalne mapy paleogeograficzne zostały skonstruowane aby wspomóc badania nad potencjałem paleozoicznych, w szczególności ordowickich i sylurskich łupków, bogatych w substancję organiczną. Artykuł przedstawia szczegółowe mapy paleogeograficzne dla ośmiu przedziałów czasowych w obrębie paleozoiku. Mapy te zawierają informacje dotyczące tektoniki płyt i paleośrodowiska w czasie kambru, ordowiku, syluru, dewonu i karbonu.

3.2. Metodyka

Mapy skonstruowane były przy użyciu programów PLATES, PALEOMAP i GPlates w oparciu o elektroniczny bank danych, który zawiera współczesne granice płyt, izochrony oceanicznych anomalii magnetycznych, linie spękań oceanicznych, dane batymetryczne, dane altymetryczne SEASAT i GEOSAT, granice oceanów i kontynentów oraz kontynentalne elementy tektoniczne. Informacje litologiczne zostały również zawarte w banku danych w formacie PALEOMAP i rotowane razem z płytami. Wulkanity znacząca działalność płam gorąca służyły jako reper przy określaniu paleodługości geograficznej (np. Golonka i Bocharova, 2000). Dane paleomagnetyczne posłużyły dla oznaczenia paleoszerokości geograficznej (np. Torsvik et al., 2012). Przy wykonywaniu map palinospastycznych wykorzystano informacje z szeregu globalnych i megaregionalnych prac geologicznych i paleogeograficznych (Barmuta et al., 2016, Bełka et al., 2002, Botor et al., 2017a,b,c,d, Berthelsen, 1993, Cocks i Torsvik, 2005, Golonka, 2007, 2009, 2015, Golonka i Gawęda, 2012, Golonka et al., 2015, 2017, Jaworowski, 1997, 2000, Kasperska

et al., 2016, Krzywiec et al., 2015, 2017, Lazauskiene et al., 2002, Modliński, 1982, 2010, Modliński i Podhalańska, 2010, Nawrocki, 2015, Nawrocki et al., 2007, Paczeńska, 2006, Paczeńska et al., 2005, Poprawa, 2006, Poprawa et al., 1999, Pharaoh, 1999, Torsvik i Rehnström., 2003, Torsvik et al., 2012, A. M. Ziegler et al., 1997, P. Ziegler, 1989). Mapy paleogeograficzne ilustrują geodynamiczną ewolucję Ziemi od wczesnego kambru do późnego karbonu, to jest rozrost (spreading), tworzenie i zamykanie się oceanów, kolizje kontynentów oraz tworzenie się nowych superkontynentów.

3.3. Ewolucja paleogeograficzna

W ediakarze i wczesnym kambrze (Fig. 3.1) nastąpił rozpad superkontynentu Pannocji (Pannotia). Rozpad ten nastąpił wkrótce po serii wendyjskich wydarzeń orogenicznych, takich jak orogenezy kadomska, bajkalska i panafrykańska. W wyniku tych orogenez oraz rozpadu Pannocji utworzyły się kontynenty: Gondwana, Laurencja, Baltika (Bałtyka) i Syberia. W skład Gondwany wchodziły: Południowa Ameryka, Afryka, Madagaskar, India, Antarktyka, Australia oraz szereg mniejszych bloków kontynentalnych i teranów, takich jak Jukatan, Awalonia, terany południowo i środkowo-europejskie (kadomskie), terany środkowo-azjatyckie, chińskie i kimeryjskie (Turcja, Iran, Afganistan, Tybet, Azja południowo-wschodnia). Kontynent laurentyjski obejmował większą część Ameryki Północnej, północną Irlandię, Szkocję i Czukotkę. Płyta Syberii obejmuje większą część Syberii współczesnej. Kontynenty były oddzielone oceanami, takimi jak: Iapetus i Ocean Paleoazjatycki (Golonka, 2009). Baltika (Bałtyka)

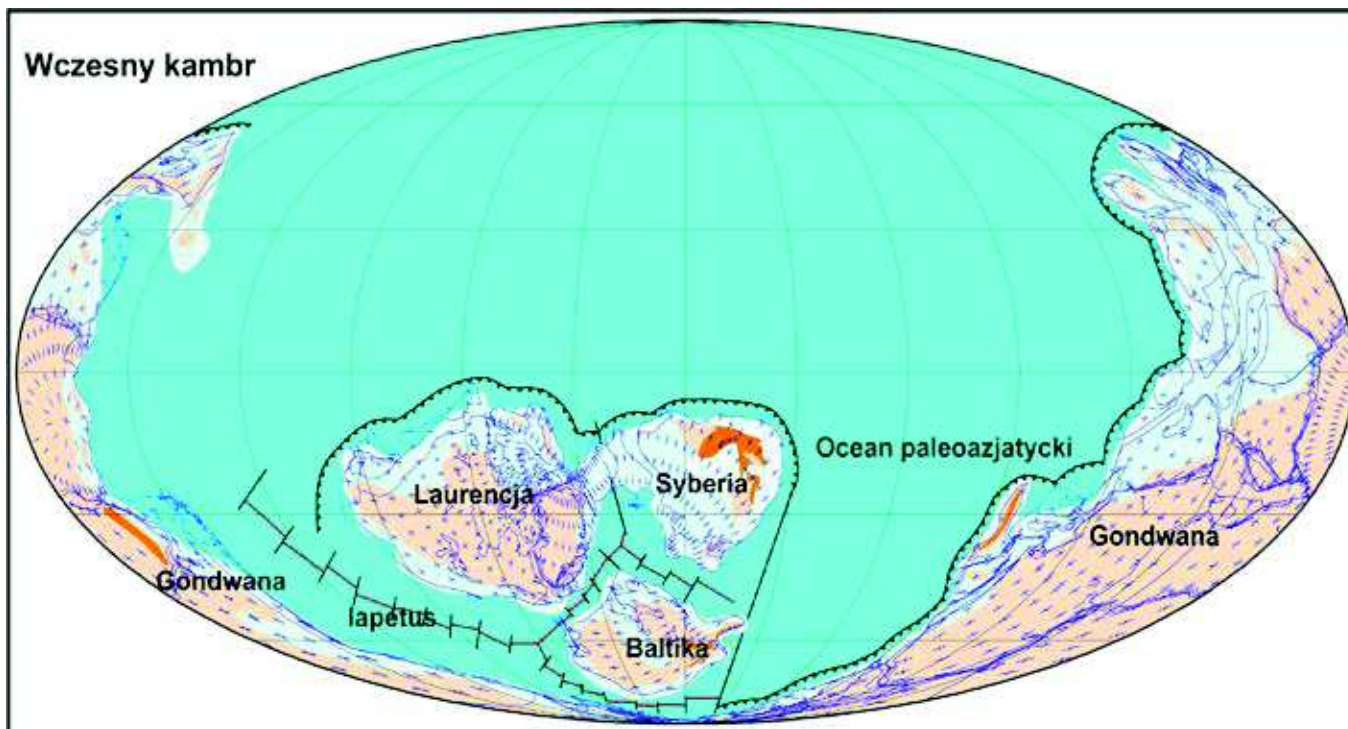


Fig. 3.1. Globalna paleogeografia we wczesnym kambry. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona.

obejmowała dzisiejszą północno-wschodnią Europę pomiędzy linią Teisseyra-Tornquista a Uralem.

Platforma wschodnioeuropejska obejmuje dzisiejszą zachodnią część kontynentu Baltiki. Jej polska część zawiera się na północny - wschód od linii

Teisseyra-Tornquista, biegnącej od Skanii, do Morza Czarnego, poprzez Pomorze Zachodnie, rejon Łodzi oraz Gór Świętokrzyskich (Golonka, 2009, 2015, Golonka et al., 2015). Kraton Baltiki w okresie kambry znajdował się na półkuli południowej

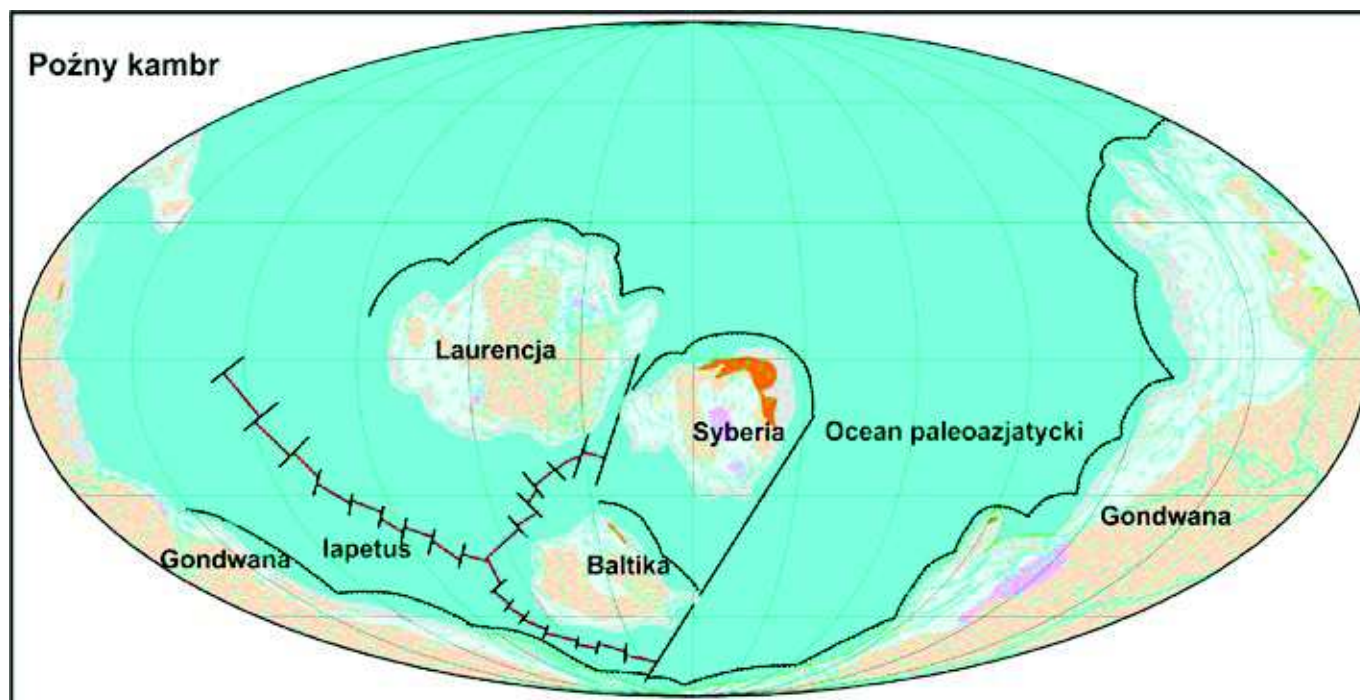


Fig. 3.2. Globalna paleogeografia w późnym kambry. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona.

i dryfował w kierunku północnym (Cocks i Torsvik, 2005, Golonka, 2009, Torsvik et al., 2012).

W późnym kambrze istnieją w dalszym ciągu kontynenty Gondwana, Laurencja, Bałtyka i Syberia, oddzielone szerokimi domenami oceanicznymi takimi jak ocean Iapetus z zaawansowa-

nym spredingiem (Fig. 3.2). Osady kambryjskie, o miąższości do 900 m składają się głównie z arenitów kwarcowych, kwarcytowych piaskowców, cienkoławicowych piaskowcowo-mułowcowych heterolitów i masywnych mułowców w różnym stopniu laminowanych i bioturbowanych. Wy-

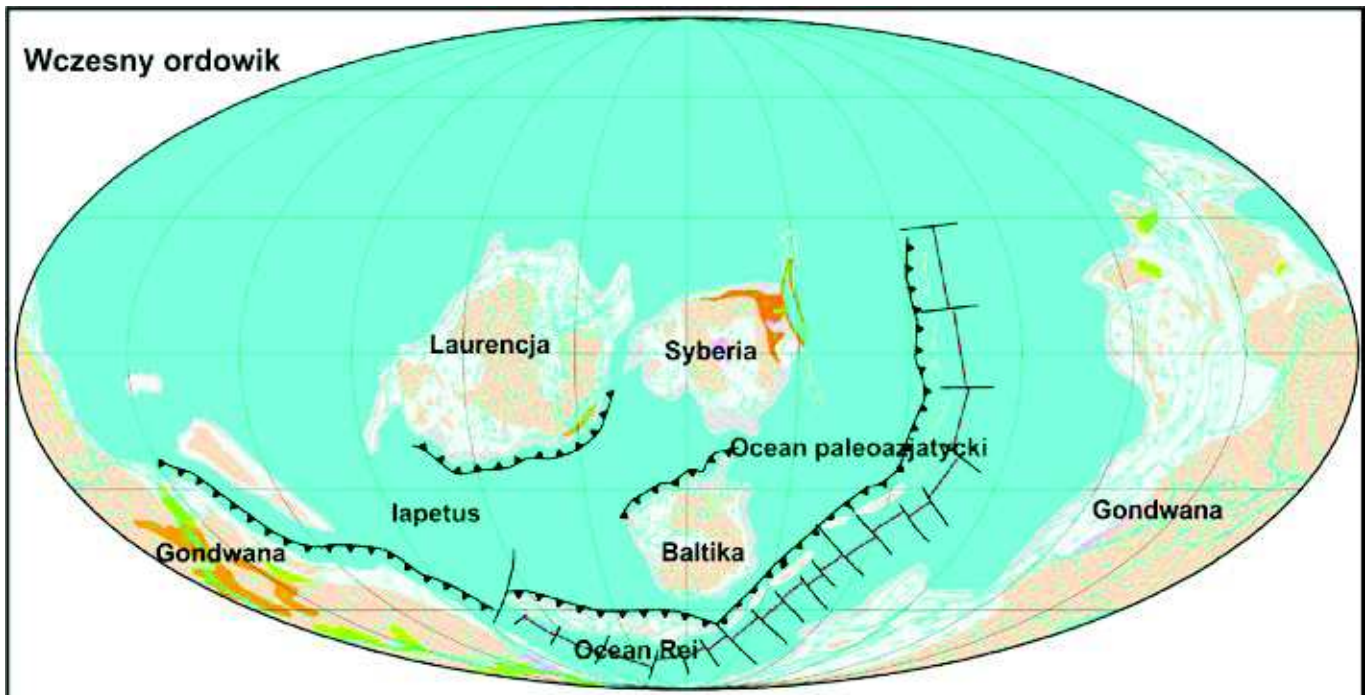


Fig. 3.3. Globalna paleogeografia we wczesnym ordowiku. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona.

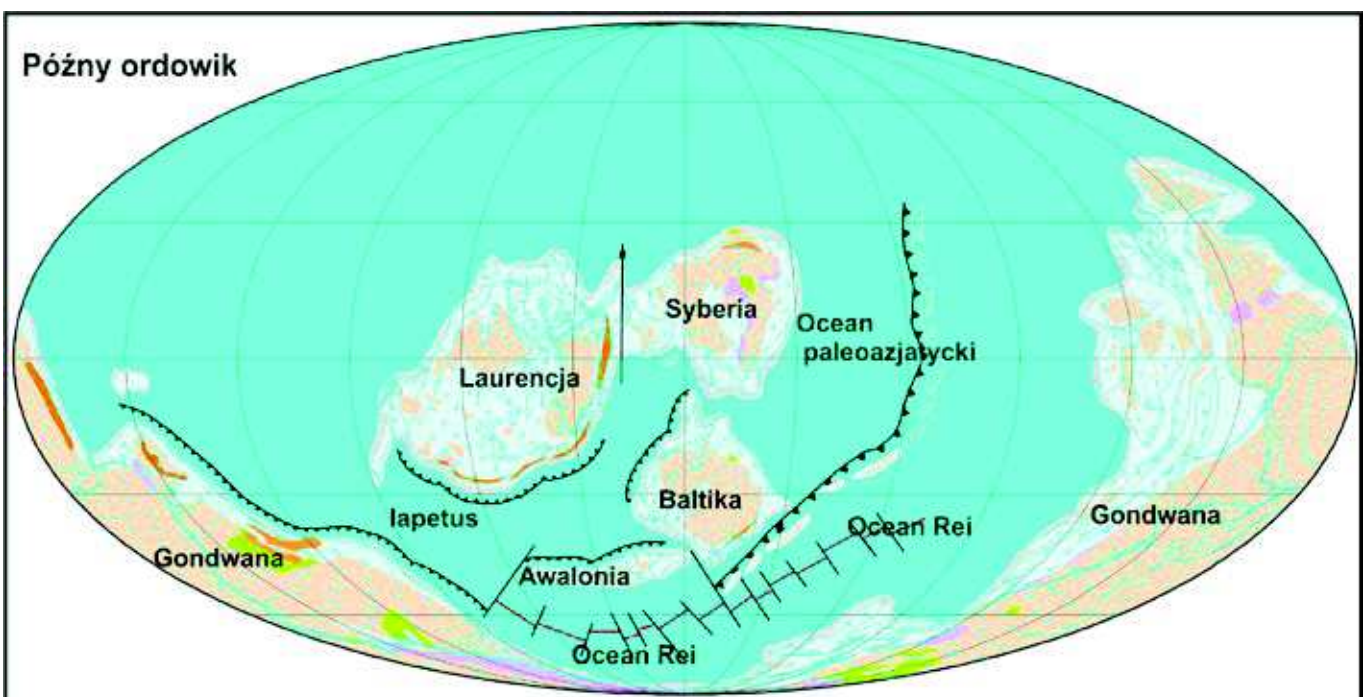


Fig. 3.4. Globalna paleogeografia w późnym ordowiku. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona

różniono tu 13 litofacji. Utwory te osadzały się na szelfie, przeważnie w strefie pływowej lub sporadycznie w innych środowiskach sedimentacyjnych (Jaworowski, 1997). Poźnokambryjskie (formacja z Piaśnicy) i wczesnoordowickie, (odpowiednio formacja z Piaśnicy i formacja ze Słuchowa), bogate w substancję organiczną oasdy stanowią skały macierzyste, odpowiednie dla tworzenia złóż węglowodorów, zarówno o konwencjonalnym i niekonwencjonalnym charakterze.

Wczesny ordowik był okresem największego rozproszenia kontynentów i istnienia rozległych oceanów pomiędzy kontynentami Gondwany, Laurencji, Bałtyki i Syberii (Fig. 3.3). Odległość pomiędzy Gondwaną a Laurencją osiągnęła 5000 km (Cocks i Torsvi, 2005, Golonka, 2009, Torsvik et al., 2012).

Oddzielenie się teranów awalońskich (część Polski, północne Niemcy, Ardeny, Anglia, Walia, południowa Irlandia, część nadmorskich prowincji Kanady i Nowej Anglii) od północnej Gondwany doprowadziło do powstania nowego oceanu Rei (Cocks i Torsvi, 2005, Golonka, 2009, Torsvik

kwencji, kambryjsko-wczesnoordowicki ocean Iapetus zaczął się zwężać. Na przedłużeniu Awalonii ku wschodowi znajdował się teran Brunovistulicum. Wzajemne relacje pomiędzy płytami perygondwańskimi i awalońskimi sugeruje wschodnie przedłużenie oceanu Rei (Golonka, 2009, Golonka i Gawęda, 2012).

W ordowiku w obrębie platformy wschodnioeuropejskiej osadzały się głównie węglany i mułowce graptolitowe w warunkach zwolnionej sedimentacji i eustatycznych wahań poziomu morza (Modliński and Szymański, 1997; Modliński, 1982). Niewielka miąższość osadów ordowickich jest efektem niewielkiej subsydencji w obrębie pasywnej krawędzi Bałtyki (Poprawa et al., 1999, Botor et al., 2017b (ta książka), Stypa et al., 2017 (ta książka)).

W sylurze, we wczesnej fazie orogenezy kaledońskiej, polska część Awalonii połączyła się z Bałtyką wzdłuż szwu położnego w strefie Tornquista-Teisseyre'a (Fig. 3.5). Kolidacja miała najprawdopodobniej skośny charakter (Torsvik & Rehnström, 2003, Golonka, 2007, Poprawa & Paczeńska, 2002). We wcze-

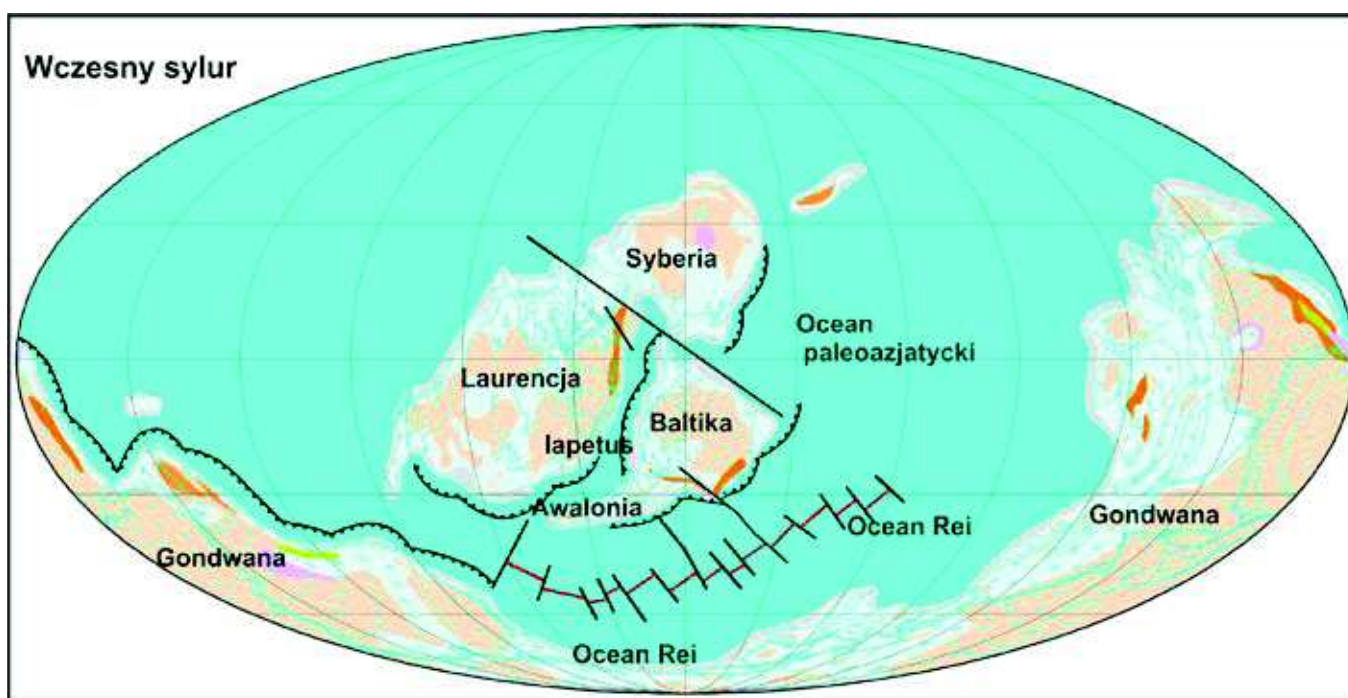


Fig. 3.5. Globalna paleogeografia we wczesnym sylurze. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona.

i Rehnström., 2003, Torsvik et al., 2012). Powstanie ryftu oceanu Rei oraz dryft Awalonii (Fig. 3.4) związany był ze strefą subdukcji, która rozwinęła się wzdłuż centralnej części Gondwany. W konse-

wnym sylurze zwęził się znacznie ocean Iapetus (Fig. 3.5), a pod koniec okresu rozpoczęła się właściwa faza orogenezy kaledońskiej (skandyjska) wywołana kolidacją Baltiki i Laurencji (Golonka, 2007). W wyni-

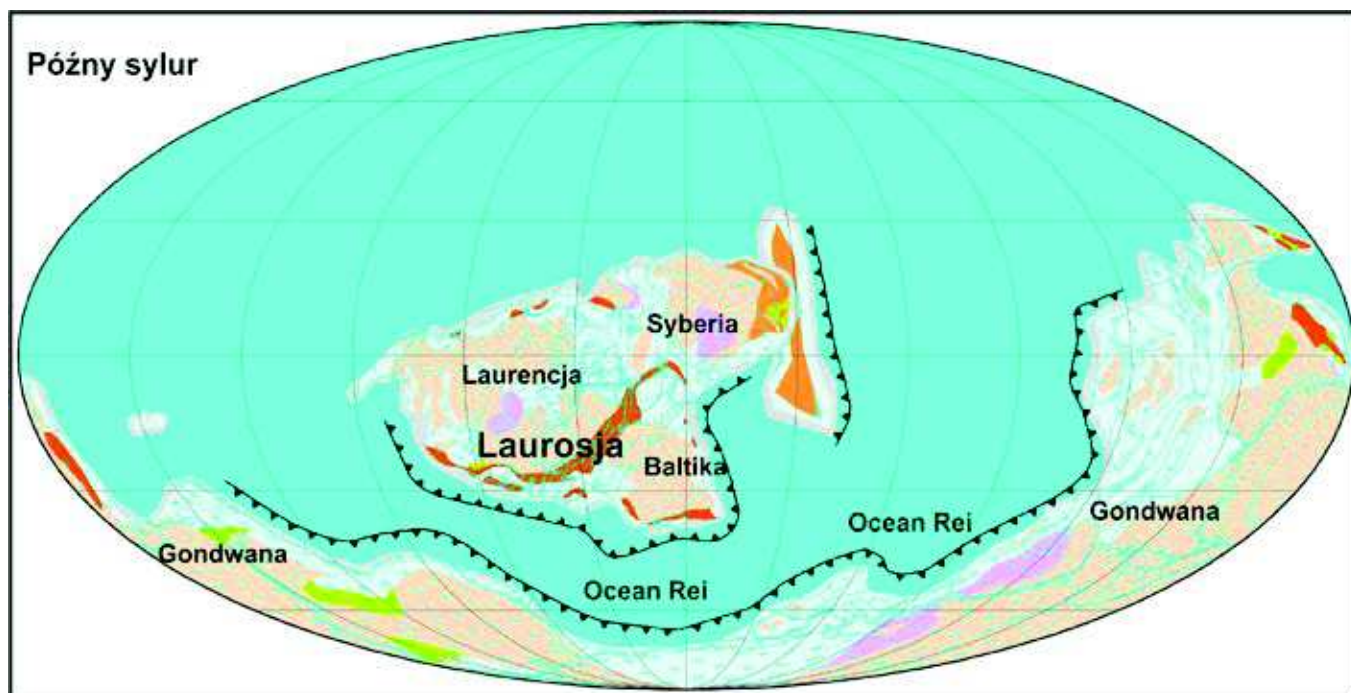


Fig. 3.6. Globalna paleogeografia w późnym sylurze. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona.

ku tek kolizji i połączenia się kontynentu bałtycko – awalońskiego z Laurentją (Cocks & Torsvik, 2005, Golonka, 2007) wczesnopaleozoiczny ocean Iapetus został zamknięty i powstał superkontynent Laurosja (P. Ziegler, 1989) (Fig. 3.6).

Przedgórski basen orogenu kaledońskiego zachodniej części Bałtyki zaczął się tworzyć we wcze-

snym sylurze (Poprawa et al., 1999). Zaznaczył się w tym czasie wzrost tempa subsydencji tektonicznej (Poprawa et al., 1999, Poprawa, 2006a, Lazauskiene et al., 2002). Wg Batora et al. (2017b, ta książka) tempo subsydencji tektonicznej w późnym sylurze na obszarze krawędzi wschodnioeuropejskiej mogło osiągać ponad 500 m/mln lat (Poprawa et al.,

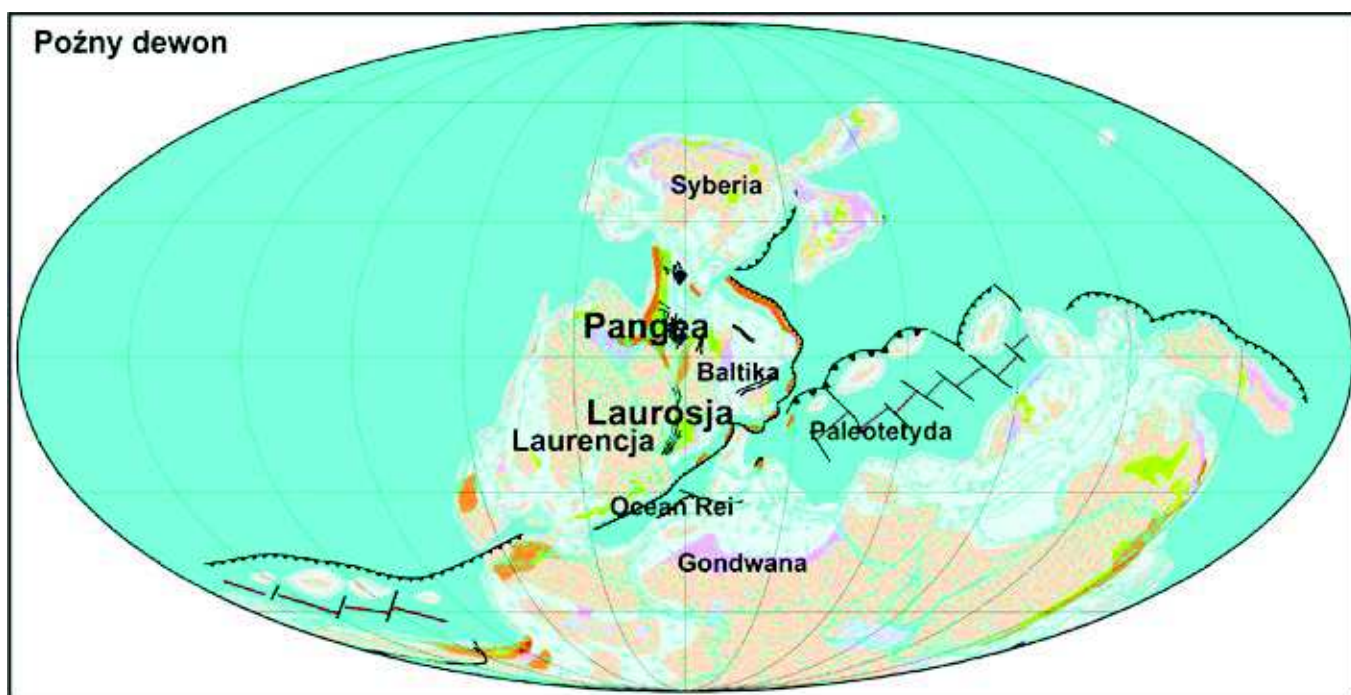


Fig. 3.7. Globalna paleogeografia w późnym dewonie. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona.

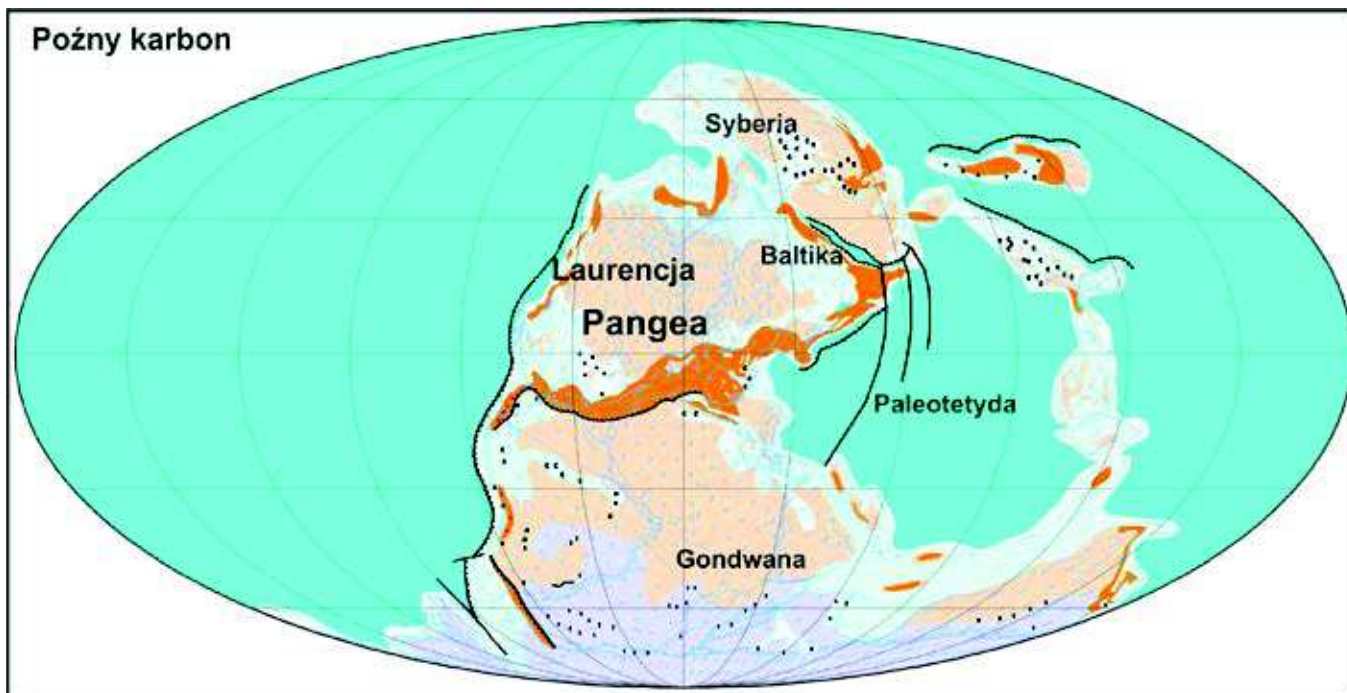


Fig. 3.8. Globalna paleogeografia w późnym karbonie. Według Golonka i Gawęda, 2012, zmieniona

1999, Poprawa, 2006a, Lazauskiene et al., 2002) przy równie wysokim tempie depozycji osadów (Poprawa et al. 1999, Poprawa, 2006a). W konsekwencji miąższość osadów sylurskich może przekraczać nawet 3500 m. Osady te są zdominowane przez mułowce i węglany (Modliński et al., 2006). Rozpoczynają się czarnymi, bogatymi w substancję organiczną, lamionwanymi mułowcami formacji z Jantaru (Rhuddan-Aeron). Ku górze facja ta zaczyna być przeławicana kilkucentymetrowymi zielonymi bioturbowanymi mułowcami należącymi do formacji z Pasłęka (Telych). Wyżej leżące osady Wenloku składają się z cienkich, zawierających mniej substancji organicznej argilitowych, dolomitycznych i wapnistych, laminowanych mułowców, przeławicanych cienkim biklastycznymi łagami, calcysiltytami i kalkarenitowymi tempestydami. Materiał ziarnisty pochodził ze wschodniego szelfu węglanowego. Często występują również konkreje węglanowe. Osady formacji z Kociewia (Ludlow) są reprezentowane przez mułowce przeławicane cienkimi warstwami kwarcowych siltstonów, rzadziej piaskowców. Te silikoklastyczne osady wchodziły w skład kaledońskiej synorogenicznej przyzmy, która wchodziła do basenu przedgórskiego od zachodu i południowego zachodu, (Jaworowski, 2000).

Ocean Rei w szczątkowej formie istniał jeszcze późnym w dewonie (Fig. 3.7). Jego ostateczne zamknięcie nastąpiło w okresie późniejszym (Cocks

i Torsvi, 2005, Golonka, 2009, Torsvik i Rehnström., 2003, Torsvik et al., 2012). Superkontynent Pangea (Fig. 3.8) powstał w karbonie w wyniku rotacji Gondwana i serii orogenez (waryscyjska i alegeheńska), które były wynikiem łączenia się Gondwany i Laurosji. Orogeneza waryscyjska w Europie była rezultatem kolizji szeregu bloków z krawędzią Laurosji, po czym nastąpiło zaangażowanie się kontynentu Gondwany. W Polsce orogeneza waryscyjska była spowodowana kolizją mikrppłyt wchodzących w skład Masywy Czeskiego (tak zwanych terranów armorykańskich) oraz terranu protokarpackiego z Laurosją. Terran protokarpacki działał jako indentor powodując tektonikę nasuwczą w Górach Świętokrzyskich i na platformie wschodnioeuropejskiej w rejonie lubelskim. Terran protokarpacki został przyspawany do północno odgałęzienia Pangei. Ocean Paleotetyrdu znajdował się na południe od tego odgałęzienia.

3.4. Wnioski

Odtworzenie paleozoicznej ewolucji platformy wschodnioeuropejskiej pozwala na rozszerzenie naszej wiedzy o dolnopaleozoicznych łupkach bogatych w substancję organiczną i kontekście facjalnym potencjalnych złóż gazu łupkowego. Otrzymane rezultaty tworzą podstawę dla racjo-

nalizacji warunków, w których powstawały osady wzbogacone w substancję organiczną jak również umożliwią korelację regionalną.

Szczegółowa analiza paleotektoniczne-palinspastyczna pozwala na umieszczenie profili we właściwym kontekście paleogeograficznym, jak również na rekonstrukcję rozmieszczenia uskoków w czasie sedymentacji potencjalnych skał macierzystych, grzbietów oddzielających baseny i stref mniej, lub bardziej aktywnej subsydencji. Analiza

ta pomaga też w odtwarzaniu historii wczesno-paleozoicznej subsydencji i wieku wydarzeń termicznych ważnych dla modelowania dojrzałości materii organicznej. Wybranie paleogeograficznych regionów, w których mogą występować niekonwencjonalne złoża węglowodorów typu „shale gas” i „shale oil” stanowi końcowy cel pracy naszego zespołu.

Bibliografia

- Barmuta J., Golonka J., Barmuta M. 2016. A plate tectonic and paleofacies model of the Eastern European Platform in Poland – basic concepts. W: Vojtko R. (ed). Central European Tectonic Groups Annual Meeting - CETeG 2016, Predna Hora, Slovakia, April 28 - May 1, 2016 Abstract Volume, Comenius University in Bratislava, Slovakia, 17.
- Bełka Z., Valverde-Vaquero P., Dörr W., Ahrendt H., Wemmer K., Franke, W., Schäfer, J., 2002. Accretion of first Gondwana-derived terranes at the margin of Baltica. W: Winchester J.A., Pharaoh T.C., Verniers J. (eds). Palaeozoic Amalgamation of Central Europe (Geological Society, London, Special Publications, 201, 19-36.
- Berthelsen A., 1993. Where different geological philosophies meet: the Trans-European Suture Zone. Publication. Institute Geophysics Polish Academy of Sciences., A 20, 255, 19–31,.
- Cocks L., R., M., Torsvik T., H., 2005. Baltica from the late Precambrian to mid- Palaeozoic times: The gain and loss of a terrane's identity. *Earth-Science Reviews*, 72, 39 – 66.
- Botor D., Golonka J., Papiernik B., Zajac J., Guzy P. 2017a. Generowanie i ekspulsja węglowodorów w utworach dolnopaleozoicznych w obszarze SW skłonu wschodnioeuropejskiej platformy prekambryjskiej w NE Polsce, implikacje dla poszukiwań złóż niekonwencjonalnych. (ta książka)
- Botor D., Golonka J., Anczkiewicz A., Dunkl I., Papiernik B., Zajac J., Guzy P. 2017b Historia pogrążania utworów dolnopaleozoicznych i ich ewolucja paleotermiczna w obszarze platformy wschodnioeuropejskiej na tle badań termochronologicznych (ta książka).
- Botor D., Golonka J., Anczkiewicz A.A., Dunkl I., 2017c. Ewolucja paleotermiczna przedpola platformy wschodnioeuropejskiej (Góry Świętokrzyskie) w świetle badań termochronologicznych (ta książka)
- Botor D., Golonka J., Anczkiewicz A., Dunkl I., 2017d. Thermal history of the SW slope of EEC constrained by zircon helium dating and apatite fission tracks analyses (NE Poland). *Tectonophysics*, (w przygotowaniu).
- Dadlez R., 2006. The Polish Basin – relationship between the crystalline, consolidated and sedimentary crust, *Geological Quarterly*, 50, 1, 43 – 58.
- Golonka J., Bocharova N.Y., 2000. Hot spot activity and the break-up of Pangea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161, 49-69.
- Golonka J., Gawęda A., 2012. Plate tectonic evolution of the southern margin of Laurussia in the Paleozoic. W: Sharkov E. (ed.). *Tectonics–Recent advances*, 261-282.
- Golonka J., 2007. Phanerozoic paleoenvironment and paleolithofacies maps: late Paleozoic. *Kwartalnik AGH. Geologia*, 33, 145-209.
- Golonka J., 2009. Phanerozoic paleoenvironment and paleolithofacies maps: Early Paleozoic *Kwartalnik AGH. Geologia*, 35, 589-654.
- Golonka J. , 2015. Early Paleozoic paleogeography of the Eastern European Platform. In: AAPG European regional conference & exhibition 2015 : ”Tethys-atlantics interaction along the European-Iberian-African plate boundaries” . May 2015, Lisbon, Portugal: abstracts, 89.
- Golonka J., Barmuta J., Waškowska A., Pietsch K. , Papiernik B., Porębski S .J. , Barmuta M., Nosal J. , Kasperska M. , Michna M., Buniak A., Mikołajewski Z. 2015. Paleozoic Palaeobiogeography of the East European Platform in Poland . W: Bubík M., Ciurej A., Kaminski M.A. (eds). 16th Czech-Slovak-Polish palaeontolo-

- gical conference and 10th Polish micropalaeontological workshop : September 2015, Olomouc : abstracts book and excursion guide. The Grzybowski Foundation & Micropress Europe, 2015. Grzybowski Foundation Special Publication, 21, 36-37.
- Golonka J., Krzywiec P., Pietsch K., Barmuta J., Bębenek S., Botor D., Porębski S.J., Papiernik B., Barmuta M., Michna M., Buniak A., Mikołajewski Z. 2017. Paleozoic Evolution of the Eastern European Platform in Poland and Shale Gas Potential. AAPG Datapages/Search and Discovery Article #90291 2017 AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, April 2-5, 2017. <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2017/90291ace/abstracts/2611996.html>
- Jaworowski K. 1997. Depositional environments of the Lower and Middle Cambrian sandstone bodies; Polish part of the East European Craton [Eng. Sum.]. *Biuletyn. Państwowego Instytutu Geologicznego*, 377, 112.
- Jaworowski K. 2000. Facies analysis of the Silurian shale-siltstone succession in Pomerania (northern Poland). *Geological Quarterly*, 44, 3, 297-315.
- Kasperska M., Pietsch K., Golonka J., Marzec P., Cichostępski K., 2016. Tectonic position of the Paleozoic rocks – target for unconventional hydrocarbon in the Pomeranian Basin, northern Poland. W: *Petroleum Systems of Alpine-Mediterranean Fold Belts and Basins. AAPG Europe Region European Regional Conference & Exhibition, 19th - 20th May, 2016, Bucharest, Romania, Abstract Book*, 146.
- Krzywiec P., Pietsch K., Marzec P., Kufraś M., Golonka J. 2015. Tectonics of the Lublin Basin and its impact on shale gas potential – results of seismic data. W: *AAPG European regional conference & exhibition 2015 : "Tethys-atlantics interaction along the European-Iberian-African plate boundaries"* . May 2015, Lisbon, Portugal: abstracts, 30–31.
- Krzywiec P., Gągała Ł., Mazur S., Słonka Ł., Kufraś M., Malinowski M, Pietsch K., Golonka J. , 2017. Variscan deformation along the Teisseyre-Tornquist Zone in SE Poland: Thick-skinned structural inheritance or thin-skinned thrusting?, *Tectonophysics*, 718, 83–91.
- Lazauskiene J., Stephenson R. Sliupa S., van Wees J.-D., 2002. 3-D flexural modelling of the Silurian Baltic Basin. *Tectonophysics*, 346, 115–135.
- Modliński, Z. 1982. Rozwój litofacjalny i paleotektoniczny ordowiku na obszarze platformy prekambryjskiej w Polsce. The development of ordovician lithofacies and palaeotectonics in the area of the precambrian platform in Poland. *Prace Instytutu Geologicznego, CII*, 1-66.
- Modliński Z. (red.) 2010. Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich. Państwowego Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Modliński Z., Podhalańska T. 2010. Outline of the lithology and depositional features of the lower Paleozoic strata in the Polish part of the Baltic region. *Geological Quarterly*, 54, 109–121.
- Nawrocki J. Dunlap J, Pecskey Z., Krzemiński L, Zylińska A., Fanning M., Kozłowski W.i, Salwa S., Szczepanik Z., Trela W., 2007. Late Neoproterozoic to Early Palaeozoic palaeogeography of the Holy Cross Mountains (Central Europe): an integrated approach. *Journal of the Geological Society, London*, 164, 405–423.
- Nawrocki J., 2015. Jeszcze raz o terranach w Polsce i ich wędrówce, *Przegląd geologiczny*, 63, 11, 1272 – 1283.
- Paczeńska J., 2006. Ewolucja późnoneoproterozoiczno-wczesnokambryjskich ryftowych depocentrów i facji w lubelsko-podlaskim basenie sedymentacyjnym. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 186, 9–38.
- Paczeńska J. Poprawa P., Żywiecki M., Grotek I., Poniewierka H. Wagner M. 2005. Utwory najwyższego ediakaru i kambriu dolnego basenu podlasko-lubelskiego jako potencjalne skały macierzyste dla węglowodorów. *Przegląd geologiczny*, 53, 499-506.
- Pharaoh T., 1999., Palaeozoic terranes and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ): a review, *Tectonophysics*, 314, 17 – 41.
- Poprawa P., Paczeńska J., 2002. Rozwój ryftu w późnym neoproterozoiku-wczesnym paleozoiku na lubelsko-podlaskim skłonie kratonu wschodnioeuropejskiego — analiza subsydencji i zapisu facjalnego, *Przegląd Geologiczny*, 50,1, 49 – 63.
- Poprawa P., 2006a. Rozwój kaledońskiej strefy kolizji wzdłuż zachodniej krawędzi Baltiki oraz jej relacje do basenu przedpola, w: Matyja, H., Poprawa, P., Ewolucja facjalna, tektoniczna i termiczna pomorskiego segmentu szwu transeuropejskiego oraz obszarów przyległych, *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 186, 189-212.

- Poprawa P. 2006b. Neoproterozoiczny rozpad superkontynentu Rodinii/Pannotii — zapis w rozwoju basenów osadowych na zachodnim skłonie Baltiki. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 186, 165–188.
- Poprawa P., Šliaupa S., Stephenson R.A., Lazauskiene J., 1999. Late Vendian–Early Palaeozoic tectonic evolution of the Baltic Basin: regional implications from subsidence analysis. *Tectonophysics*, 314, 219–239.
- Stypa A., Krzywiec P., Kufraś M., Słonka Ł. 2017, Analiza krzywych subsydencji tektonicznej na obszarze basenu lubelskiego. (ta książka)
- Torsvik T., Rehnström E., 2003. The Tornquist Sea and Baltica–Avalonia docking, *Tectonophysics*, 362, 67 – 82.
- Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Mac Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeie, M., Gaina C., Tohver, E., Meert J.G., McCausland P.J.A., Cocks L.R.M., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 114, 325–368.
- Ziegler A. M., Hansen K. S., Johnson M. E., Kelly M. A., Scotese C. R., van der Voo R., 1977. Silurian continental distributions, paleogeography, climatology, and biogeography. *Tectonophysics*, 40, 13–51.
- Ziegler P.A. 1989. *Evolution of Laurussia*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.