

KRZYSZTOF BUKOWSKI

**Badeńska sedymentacja salinarna
na obszarze między Rybnikiem a Dębicą
w świetle badań geochemicznych, izotopowych i radiometrycznych**

Streszczenie

Jednym z wyraźniejszych zmian paleośrodowiska w ciągu ostatnich kilkunastu milionów lat, które w Europie nie zostały jeszcze dostatecznie zbadane, jest badeński kryzys salinarny. W tym czasie zespół czynników klimatycznych, środowiskowych i geologicznych spowodował powstanie ciągłej serii osadów ewaporatowych na dużym obszarze Europy środkowej i południowej. Wstępne ustalenie chronologii i przyczyn izolacji od otwartego oceanu tych basenów, w których doszło do sedymentacji salinarnej, ma zasadnicze znaczenie dla zrozumienia geologicznych i biologicznych procesów kształtujących środowiska sedymentacji w tej części Europy. Głównym celem pracy było zbudowanie wiarygodnego modelu rozwoju basenu salinarnego oraz wyznaczenie ram czasowych dla okresu sedymentacji salinarnej. Do szczegółowych badań wybrano zachodnią część zapadliska przedkarpackiego, czyli umownie określony obszar położony wzdłuż współczesnego brzegu Karpat pomiędzy Rybnikiem na zachodzie a Dębicą na wschodzie.

W pierwszej części pracy (rozdz. 2, 3) zamieszczono opracowaną na podstawie literatury litostratygrafię osadów badenu oraz opisano metody badań. Kolejną część pracy (rozdz. 4) to analiza współczesnego zasięgu facji ewaporatowych w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego. Zawiera ona dwie mapy zasięgu facji chlorkowej skonstruowane na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych oraz współcześnie wykonanych profili sejsmicznych (w tym sejsmiki 3D). W tej części pracy zwrócono uwagę na związek poszczególnych facji ewaporatowych z morfologią podłoża podmiocenińskiego.

W następnych rozdziałach (rozdz. 5, 6) szczegółowo scharakteryzowano badeńskie poziomy tufitowe, określono ich skład mineralno-petrograficzny, a dla wybranych poziomów zostały wykonane datowania radiometryczne metodą Ar/Ar.

Następna część pracy (rozdz. 7, 8) w całości poświęcona jest badaniom osadów podewaporatowych w kontekście warunków środowiska, jakie panowały bezpośrednio przed sedymentacją ewaporatową. Przedstawiono wyniki badań stałych izotopów tlenu i węgla mikrofauny otwornicowej z górnośląskiej części zapadliska przedkarpackiego oraz określono paleobatymetrię tej części Paratetydy Centralnej.

W następnej części pracy (rozdz. 9) na podstawie naturalnych odsłonień w kopalniach soli opisano podstawowe typy litologiczne osadów solnych oraz określono ich

warunki sedymentacji. Badania eksperymentalne nad depozycją osadów mułowo-solnych posłużyły do prześledzenia przebiegu sedymentacji redeponowanych osadów solnych w zapadlisku przedkarpackim.

Wyniki badań geochemicznych (rozdz. 10), takich jak: analizy zawartości bromu w halicie, badania chemizmu ciekłych inkluzji, skład izotopowy stałych izotopów tlenu i siarki z anhydrytów występujących w obrębie serii solnej oraz skład izotopowy tlenu i wodoru w ciekłych inkluzjach, posłużyły do wyciągnięcia wniosków na temat pochodzenia solanek i dopływu wód kontynentalnych, jako istotnego elementu sedymentacji ewaporatów w facji chlorkowej.

W ostatniej części pracy (rozdz. 11, 12) dokonano podsumowania wyników badań radiometrycznych, izotopowych i geochemicznych. Na podstawie tych wyników i bezpośrednich obserwacji sedymentologicznych oraz badań eksperymentalnych skonstruowano model sedymentacji badeńskich osadów solnych.

Krystalizacja soli w rejonie badań zainicjowana została w basenie morskim z wód o składzie chemicznym bliskim współczesnej wodzie oceanicznej. Podczas krystalizacji halitu do basenu salinarnego dopływały wody morskie o normalnym zasoleniu, ale także wody meteoryczne (infiltracyjne i powierzchniowe), które następnie mieszały się z solankami basenowymi. Dopływające do basenu wody powodowały częściowe rozpuszczanie oraz redepozycję soli z płytszych, marginalnych części basenu solonośnego. Analiza współczesnego zasięgu facji ewaporatowych w zachodniej części zapadliska wskazuje wyraźnie na bezpośredni związek natężenia oraz typu sedymentacji ewaporatowej z morfologią podłoża przedbadeńskiego i odzwierciedla istnienie kilku progów morfologicznych w podłożu. Progi te stanowiły płycizny, na których dochodziło do krystalizacji siarczanów, dzieliły basen salinarny na szereg subbasenów oraz utrudniały przepływ prądów cięższej nasyconej solanki pomiędzy poszczególnymi częściami basenu.

Dopływy materiału terygenicznego, ślady po rozpuszczaniu soli oraz przykłady działalności wulkanicznej wskazują, że obserwowana cykliczność wykształcenia serii solnej była wywołana tektoniką. Podczas okresów spokoju tektonicznego następowała precypitacja halitu w głębszych częściach basenu z rozwarstwionych gęstościowo solanek. Okresowe epizody intensywności tektonicznej na brzegach basenu salinarnego przemieszczały osady z marginalnych części panwi solnych i solnej równi mułowej.

Wyniki datowań radiometrycznych badeńskich tufitów metodą Ar/Ar wykazały, że początek badeńskiej sedymentacji salinarniej nastąpił ok. $13,81 \pm 0,08$ Ma. Oznacza to, że badeński kryzys salinarny rozpoczął się jednocześnie z okresem głównego etapu globalnego chłodzenia Mi3b, które jest zarejestrowane na całym świecie, lub bezpośrednio po nim. W osadach podewaporatowych na Górnym Śląsku ochłodzenie to jest rejestrowane zmianą wartości izotopów tlenu i węgla w skorupkach otwornic. Obliczone na tej podstawie paleotemperatury wód basenu śląskiego wykazały oziębienie wód morskich w pobliżu dna o ok. 2–3 °C, a toni morskiej (pelagiał) o ok. 7 °C. Spadek temperatury wód morskich zaznaczył się również ekspansją otwornic planktonicznych zimnolubnych, które całkowite zastąpiły zespoły otwornic planktonicznych ciepłolubnych.

Podczas globalnego oziębienia klimatu Mi3b w wyniku rozwoju czapy lodowej w rejonie Antarktydy doszło do spadku poziomu morza o około 60 metrów. Taki spadek poziomu morza potwierdzony został badaniami paleobatymetrycznymi i zaznaczył się wzrostem udziału facji gruboklastycznych w południowej części basenu zapadliska przykarpackiego. Globalny spadek poziomu morza ograniczył odpływ głębokich, bardziej zasolonych wód z zapadliska przedkarpackiego oraz basenów wewnątrzkarpackich i był bezpośrednią przyczyną badeńskiego kryzysu salinarnego.

Sedymentacja salinarna w zapadlisku przedkarpackim występowała prawdopodobnie, co najmniej 200 000 lat, w warunkach zmieniającego się i tektonicznie kontrolowanego środowiska sedymentacji.

KRZYSZTOF BUKOWSKI

Badenian Saline Sedimentation

between Rybnik and Dębica

Based on Geochemical, Isotopic and Radiometric Research

Summary

One of the distinct changes of the paleoenvironment in the past dozen of millions of years that has not been studied adequately is the Badenian salinity crisis. During that crisis, a complex of climatic, environmental and geological conditions caused the occurrence of a continuous series of evaporate deposits on a large area of Central and Southern Europe. Preliminary determination of the chronology and the causes of the basin's isolation from the open ocean will be essential for understanding the geological and biological processes shaping the sedimentation environment in that part of Europe. The goal of the present study is to build a reliable model of the saline basin development and identify the timeline of the saline sedimentation period. The western part of the Carpathian Foredeep was selected for detailed studies. The research area is located along the present-day edge of the Carpathians, between Rybnik in the west and Dębica in the east.

In the first part of this paper (Chapters 2 and 3), the lithostratigraphy of the Badenian, prepared on the basis of literature, and research methodology are described. The next section (Chapter 4) is devoted to the analysis of the present-day extension of the evaporate facies in the western part of the Carpathian Foredeep. The chapter contains two maps of the chloride facies extension in the western part of the Carpathian Foredeep, drafted on the basis of available archival materials and recent seismic profiles (including 3D seismic imagery). In that part of studies, attention was paid to the relationship between particular evaporate facies and the morphology of the Miocene substrate.

Subsequent sections (Chapters 5 and 6) describe in detail the Badenian tuffite levels, with determination of their mineral and petrographic composition. Also, Ar/Ar radiometric dating for selected levels were carried out.

Chapters 7 and 8 are completely devoted to the studies of sub-evaporate deposits, in the context of the environmental conditions that existed right before evaporate sedimentation. Then, the results of the analysis of stable isotopes of oxygen and carbon in the Foraminifera in the Upper Silesian part of the Carpathian Foredeep are presented, with the determination of the paleobathymetry of the basin.

Later (Chapter 9), basic lithologic types of salt are described, based on the samples originating from salt mines, and the sedimentation conditions are discussed. Experi-

ments on the deposition of silt and salt layers were used for tracing redeposition of salt deposits in the Carpathian Foredeep.

The discussion (Chapter 10) of such geochemical study results as the studies of the bromine content in halite, chemistry of fluid inclusions, isotopic composition of stable isotopes of oxygen and sulphur from anhydrites occurring in the salt series, and isotopic composition of oxygen and hydrogen in fluid inclusions were used for drawing conclusions on the origin of brine and access of continental waters as essential components of chloride facies evaporate sedimentation.

In the last part of the paper (Chapters 11 and 12), the conclusions of radiometric dating results, isotopic and geochemical studies are presented. Based on those results and direct observations of the salt sedimentation, as well as experiments, a Badenian salt sedimentation model was developed.

Salt crystallization in the studied area was initiated in the sea basin containing water whose chemical composition was similar to present-day ocean water. During halite crystallization, the saline basin was supplied with sea water of normal salinity, as well as meteoric water (infiltration and surface water) mixing with basin's brine. The water entering the basin caused partial solution and redeposition of salt from shallow and marginal parts of the salt basin. The analysis of the present-day range of the evaporate facies in the western part of the Carpathian Foredeep clearly indicates a direct relationship between the intensity and type of evaporate sedimentation and the morphology of pre-Badenian substrate, reflecting the existence of several morphologic thresholds in the substrate. The respective elevations produced shallow areas on which sulphate crystallization occurred, and moreover, the elevations divided the saline basin into a number of smaller basins. Such thresholds produced barriers that made the flow of heavy saturated brine between particular basin sections difficult. The supply of terrigenous material, the traces of dissolved salt and of volcanic activity indicate that the observed cycle of salt series formation was caused by tectonic phenomena. Halite precipitation from brine delaminated in respect of density occurred in deeper parts of the basin during the periods of tectonic peace. Periodic episodes of tectonic intensity on the edges of the saline basin relocated the deposits from marginal sections of the salt pan and salt mud flat.

The results of Ar/Ar radiometric dating of the Badenian tuffites indicate that the beginning of the Badenian salt sedimentation occurred ca. 13.81 ± 0.08 Ma. It means that the Badenian salinity crisis started concurrently to or directly after the period of the main global cooling event Mi3b that has been recorded all over the world. In the sub-evaporate deposits of Upper Silesia, that cooling event is reflected in the change of the quantities of the isotopes of oxygen and carbon in Foraminifera shells. The paleotemperature of the Silesian Basin water, indicates the cooling of sea water close to the bottom by ca. 2–3 °C and of the pelagic water by ca. 7 °C. The sea water temperature drop was also marked with the expansion of cool-water Foraminifera plankton which completely replaced the complexes of warm-water Foraminifera plankton.

During the global cooling event Mi3b, caused by the development of the ice cap in the Antarctic areas, the sea level dropped by ca. 60 metres. Such a large drop was confirmed by paleobathymetric studies and it was marked by the increase of the proportion of thick clastic facies in the southern part of the Carpathian Foredeep. The global drop of the sea level limited the outflow of deep highly salted water from the Carpathian Foredeep and from the basins situated within the Carpathian areas, and it was a direct cause of the Badenian salinity crisis.

Salt sedimentation in the Carpathian Foredeep developed probably during at least 200.000 years, in the conditions of changing and tectonically controlled sedimentation environment.