

Andrzej WITKOWSKI

Geodynamiczne i geotermiczne przesłanki ropo-gazonośności południowego Bałtyku*

Na podstawie analizy zmienności paleostrukuralnego położenia spągowej powierzchni osadów kambriu środkowego syneklizy bałtyckiej, kształtowanej subsydencją basenu sedimentacyjnego w ordowiku–dewonie, zanalizowano warunki paleogeotermiczne niezbędne dla uruchomienia potencjału generacyjnego skał macierzystych kambriu. Dokonano porównania paleotemperatur wynikających ze współczynnika refleksyjności (R_v) i analizy paleogeodynamicznej, stwierdzając znaczne rozbieżności wyników dla strefy Słupska, Bornholmu i zachodniej części polskiego sektora Bałtyku. Określono czas migracji i akumulacji węglowodorów w złoża ropy naftowej i gazu ziemnego oraz destrukcyjny wpływ inwersji warwicyjskiej na akumulacje wschodniej części syneklizy.

Rozpatrując — zgodnie z zasadami geologii naftowej — perspektywy poszukiwawcze złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w staropaleozoicznym kompleksie strukturalnym syneklizy bałtyckiej w akwenie morskim i przybrzeżnej strefie lądowej, należy dokonać analizy warunków generowania, migracji i akumulacji węglowodorów. Analiza ta nie jest oceną jednorazową; powinna być aktualizowana tak, aby — uwzględniając coraz liczniejsze dane — doprowadzić do modelowego odtworzenia procesów warunkujących powstanie złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Wyniki tej analizy są przydatne nie tylko we wstępnym etapie poszukiwań, lecz również wpływają na uściślenie prac szczegółowych w poszczególnych strefach strukturalnych.

Zasadniczymi czynnikami determinującymi powstanie złóż węglowodorów są warunki geochemiczne, geotermiczne, litologiczno-facjalne, strukturalno-tektoniczne i czas geologiczny.

Nawiązując do analizy paleostrukuralnej dokonanej na przykładzie zmienności położenia spągowej powierzchni utworów kambriu środkowego w ordowiku i sylurze, w niniejszym artykule zajmę się przesłankami geodynamicznymi i geotermicznymi ropo-gazonośności syneklizy bałtyckiej, rozumiejąc przez nie zespół procesów powodujących pionową zmienność tej części prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej oraz zmianę warunków termicznych. Jednym z nich jest subsydencja, warunkowana zarówno wewnętrznymi siłami motorycznymi skorupy ziemskiej, jak i czynnikami zewnętrznymi, do których

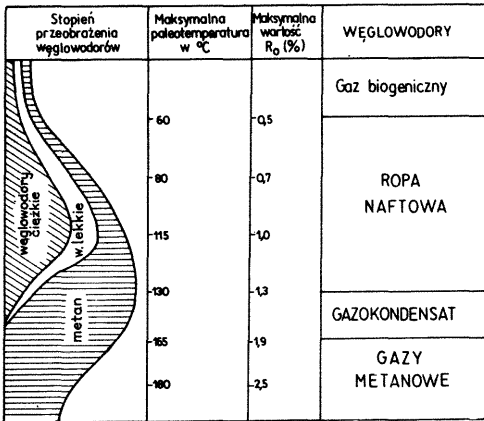


Fig. 1. Diagram korelacji temperatury i współczynnika refleksyjności (R_o) z fazami generowania węglowodorów (wg N. Wassojewicza i in., 1969)

Diagram of temperature and reflection coefficient (R_o) correlation with hydrocarbon generation phases (after N. Wassojewicz et al., 1969)

należy obciążenie dna zbiornika sedymentacyjnego osadami i ciężarem wody. Drugim ważnym procesem kształtującym syneklizę bałtycką jest przeciwnie skierowany ruch wypiętrzający. Pomijam tu wypadkowe ruchy zrzutowo-przesuwowe i przesuwowe, gdyż w platformowej części syneklizy, z wyjątkiem strefy Bornholmu, nie miały one znaczenia.

Według teorii organicznego pochodzenia węglowodorów, ich generowanie z substancji organicznej (SO) zawartej w skałach macierzystych następuje pod wpływem zmian temperatury. Najbardziej znanym schematem obrazującym tę zależność (fig. 1) jest wykres N. Wassojewicza i in. (1969), na którym główna faza ropotwórcza (GFR) obejmuje przedział temperatur 60–130°C, chociaż istnieje jeszcze wiele innych korelacji: A.A. Karcewa i in. (1971), gdzie GFR zawarte jest w granicach 65–135°C, W.C. Puseya (1973) – 65–150°C czy B. Alperna i N. Bosticka (1979) – 60–115°C.

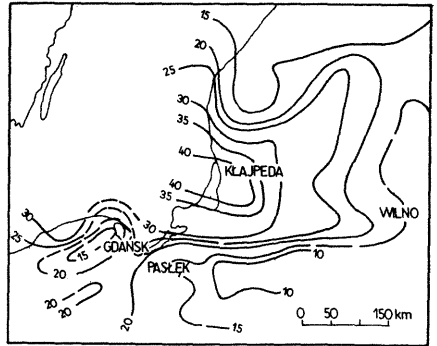
Istnieje prosta zależność między głębokością pograżenia osadów a oddziałującą na nie temperaturą (t°), stąd tak ważne są rekonstrukcje subsydencji basenów sedymentacyjnych.

Zagadnienia związane z wpływem czasu geologicznego – „czasu efektywnego grzania” – na powstawanie węglowodorów, przedstawiono w pracach N.W. Łopatina (1971) i D.W. Waplesa (1980), którzy korelują tę zależność według tzw. wskaźnika TTI .

Intensywność geotermicznego oddziaływania na SO , powodująca jej zróżnicowane przeobrażenie, jest uzależniona od strumienia ciepłego Ziemi i przewodności cieplnej środowiska skalnego. Przyjmując, że przewodność cieplna skał w przeszłości geologicznej i obecnie jest zbliżona, w dalszej części rozważań regionalnych przyjęto wskaźnikowo – uwzględniając m.in. wyniki badań stopnia zmetamorfizowania SO – że paleogradient w syneklizie bałtyckiej był większy niż obecnie. Jest to zgodne z teoretycznymi pracami geofizycznymi, które stwierdzają, że paleogradienty t° wykazują z reguły nieco większe wartości niż obecnie, co jest związane ze zmniejszaniem intensywności strumienia ciepłego, generowanego w górnym płaszczu Ziemi, oraz z rozwojem paleomagmatyzmu (S. Depowski, J. Majorowicz, 1979; J. Majorowicz, 1977, 1978a, b, 1982; J. Majorowicz i in., 1983). W rekonstrukcji paleogradientu większego o 5–10°C korzystano z map rozkładu średnich wartości gradientu geotermicznego (fig. 2) według prac S. Depowskiego i J. Majorowicza (1979) oraz J. Majorowicza i in. (1983). Na mapach tych najwyższy gradient związany jest ze strefą Kłajpedy –

Fig. 2. Mapa rozkładu współczesnego gradientu geotermicznego w syneklizie bałtyckiej (S. Depowski, J. Majorowicz, 1979) w $^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$

Map of the present geothermic gradient distribution in the Baltic Syncline (S. Depowski, J. Majorowicz, 1979) in $^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$



Mierzei Kurońskiej ($35-40^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$) oraz z Zatoką Gdańską, wyniesieniem Łeby i przyległą częścią polskiego sektora Morza Bałtyckiego ($25-30^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$). Niższy gradient występuje w południowej części wyniesienia Łeby w strefie Darżlubia–Kościerzyny ($15^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$) i we wschodniej części syneklizy bałtyckiej ($10-15^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$).

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej przesłanki i nawiązując do tezy o kształtowaniu subsydemcją kolejnych powierzchni paleostrukтурalnych w kaledońskim etapie rozwoju syneklizy – co powodowało stopniowe pograżenie osadów kambru – można stwierdzić, że uruchomienie potencjału generacyjnego macierzystych skał kambru dolnego oraz środkowego i górnego nastąpiło w syneklizie bałtyckiej po przekroczeniu głębokości ok. 1500 (rejon Kłajpedy) i ok. 2000 m (wyniesienie Łeby i akwen środkowej części południowej Bałtyku). Na pozostałym obszarze polskiej, wschodniej części syneklizy – w związku z niższym paleogradientem ($20-30^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$) – dla rozpoczęcia generowania ropy naftowej wymagane byłoby pograżenie osadów na głębokość 2200–3300 m (fig. 3).

Być może w obszarze Bornholmu występował paleogradient geotermiczny dużo większy niż przyjęto, a strefa jego podwyższonych wartości łączyła się z wyżym termicznym Kłajpedy przez cały środkowy akwen morski. Stanowiłoby to wyjaśnienie rozbieżności między znacznym stopniem metamorfizmu SO ($R_0 = 2,0$) i rekonstruowanym rozwojem geodynamicznym, a generowanie węglowodorów z tej strefy mogło się rozpocząć odpowiednio wcześniej, przy płytszym pograżeniu skał macierzystych. Utwory te w wyniku nieznacznej subsydemcji ordowickiej nie znalazły się jeszcze w warunkach geotermicznych, umożliwiających generowanie węglowodorów z ilastych skał macierzystych, gdyż nawet maksymalna głębokość pograżenia osadów w południowo-zachodniej części syneklizy nie przekroczyła 400 m (fig. 4).

Ta sytuacja ulega na zachodzie zmianie w wyniku subsydemcji basenu w landowerze – wenloku. Ukształtowanie powierzchni paleostrukтурalnej spągu osadów kambru środkowego w końcu wczesnego syluru (fig. 5) wykazuje, że tylko w zachodniej, przykrawędziowej części platformy prekambryjskiej mogło się rozpocząć generowanie węglowodorów z ilastych skał macierzystych kambru dolnego, które znalazły się w tym czasie na głębokości 2000 m w temperaturze poniżej krytycznej bariery 65°C . Na całym pozostałym obszarze syneklizy bałtyckiej, łącznie z akwenem Morza Bałtyckiego, warunki geotermiczne były jeszcze niewystarczające dla uruchomienia potencjału generacyjnego tych utworów.

Układ ten radykalnie zmienił się w wyniku znacznej, kompensowanej

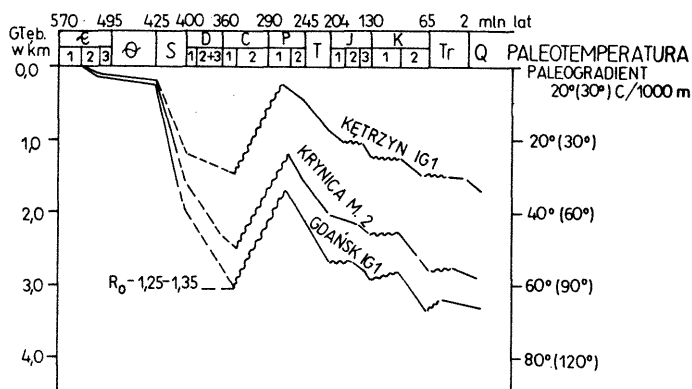


Fig. 3. Wykres zmienności geodynamicznej spągu utworów kambru środkowego w punktach otworów wiertniczych: Gdańsk IG 1, Krynica Morska 2 i Kętrzyn IG 1

Diagram of geodynamic variation of the base of the Middle Cambrian deposits in the Gdańsk IG 1, Krynica Morska 2 and Kętrzyn IG 1 boreholes

sedymentacją subsydencji w górnym sylurze (fig. 6), w wyniku czego utwory kambru dolnego w całej zachodniej części syneklizy i akwenu morskim od Skanii przez środkową część polskiego sektora Morza Bałtyckiego na północ od Władysława i Helu aż po Krynice Morską pogrzały się na głębokość 2000 m, umożliwiając generowanie węglowodorów w *GFR*. W strefie przykrawędziowej, gdzie głębokość pograżenia tych osadów przekroczyła 4,5 km, osiągnęły one paleotemperaturę powyżej 150°C, co spowodowało jakościową zmianę fazową procesu i rozpoczęcie generowania gazu metanowego. W tym czasie utwory macierzyste kambru środkowego i górnego znalazły się w warunkach geotermicznych wyzwalających ich potencjał generacyjny. Obszar występowania tych osadów, określony paleoizohipsą 2000 m, jest tylko nieco mniejszy niż utworów kambru dolnego. Jeśli przegrzanie rejonu Kłajpedy było znaczne, a paleo-gradient był ok. 10°C większy niż obecnie, to również w tej części Bałtyku mogła następować generacja węglowodorów z utworów dolnego kambru i środkowego kambru przy mniejszej głębokości pograżenia (1200–1300 m). Na zachodzie, w przykrawędziowej strefie koszalińskiej, utwory kambru środkowego i górnego, które znalazły się na głębokości większej niż 4,5 km, tak jak starsze osady kambryjskie, rozpoczęły generowanie gazów metanowych.

Uwzględniając znacznie uproszczoną i hipotetyczną rekonstrukcję subsydencji dewońskiej z pominięciem krótkotrwałej, dolnodewońskiej fazy inwersyjnej oraz jej wpływu na ukształtowanie paleostrukturnej powierzchni osadów kambru środkowego w końcu dewonu (fig. 7), można przyjąć, że potencjał generacyjny utworów macierzystych kambru został uruchomiony prawie w całej morskiej i przybrzeżnej części syneklizy bałtyckiej, gdzie głównie generowała ropa naftowa i częściowo gazo-kondensaty. Generacja gazów metanowych, podobnie jak w końcu syluru, była ograniczona do zachodniej strefy przykrawędziowej platformy prekambryjskiej.

W okresie niewielkiej subsydencji kompensowanej sedymentacją utworów karbonu dolnego obszar występowania generatorów kambryjskich pozostał praktycznie taki sam jak w dewonie, tylko nieznacznie rozszerzając się w kierunku wschodnim.

Wnioski z regionalnej analizy warunków i czasu generowania węglowodo-

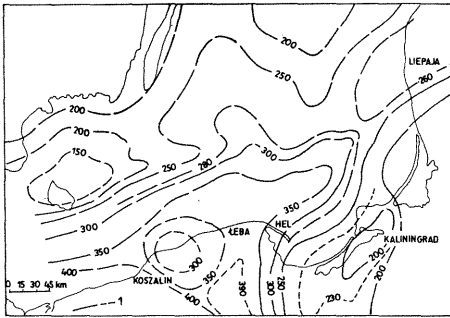


Fig. 4

Fig. 4. Mapa paleostrukuralna spągu utworów kambru środkowego w końcu ordowiku
Palaeostructural map of the base of the Middle Cambrian deposits at the end of Ordovician

1 – paleoizohipsy spągu utworów kambru środkowego w setkach metrów

1 – palaeoisohypses of the base of the Middle Cambrian deposits in hundred metres

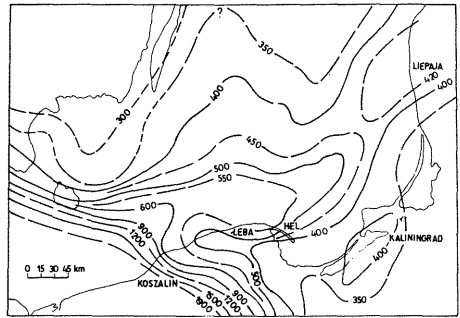


Fig. 5

Fig. 5. Mapa paleostrukuralna spągu utworów kambru środkowego w końcu syluru dolnego
Palaeostructural map of the base of the Middle Cambrian deposits at the end of Lower Silurian

Objaśnienia jak na fig. 4

Explanations as in Fig. 4

rów kambru środkowego i górnego mogą mieć zastosowanie także do skał macierzystych ordowiku i najniższego syluru dolnego, zwłaszcza w zachodniej części syneklizy i akwenu Morza Bałtyckiego. Natomiast osady wyższego syluru dolnego osiągnęły w końcu syluru zdolność generowania ropy naftowej po pograżeniu na głębokość ok. 2000 m tylko w części zachodniej, na południowy zachód od linii Skania—Łeba. W końcu dewonu obszar ten rozszerzył się w kierunku wschodnim. Biorąc pod uwagę wysoki paleogradient rejonu Kłajpedy i przyległego obszaru morskiego, należy przyjąć, że strefa generowania ze skał macierzystych syluru dolnego sięgała aż po Zalew Kuroński.

Większość potencjału geotermicznego utworów syluru górnego nie została uruchomiona w późniejszych etapach rozwoju geologicznego, gdyż nie osiągnęły one krytycznego progu paleotermicznego. Generowanie węglowodorów mogło nastąpić jedynie ze skał macierzystych części osadów syluru górnego zachodniej syneklizy bałtyckiej w końcu tego okresu oraz w końcu dewonu z nieco szerszego obszaru lądowego i morskiego.

Główna, podolnokarbońska warwscyjska faza inwersyjna przerwała generację gazów metanowych w całym akwenu Bałtyku i w lądowej części syneklizy bałtyckiej. Generacja ropy naftowej została uniemożliwiona w lądowej, rzadziej w części syneklizy bałtyckiej i polskiej części wschodniej tej syneklizy. Mimo tej inwersji, w zachodniej syneklizie i na wyniesieniu Łeby warunki geotermiczne nadal umożliwiały generację węglowodorów płynnych, której nie przerwały ani niekiedy długotrwałe okresy inwersyjno-erozyjne w mezozoiku, ani też zasadnicza laramijska przebudowa strukturalna.

Powyższa przestrzenna analiza regionalna warunków geotermicznych i czasu generowania węglowodorów z macierzystych osadów staropaleozoicznego kompleksu strukturalnego, a głównie z utworów kambryjskich, została potwierdzona punktowymi profilami geodynamicznej zmienności położenia stropu i spągu tych utworów (fig. 3, 8, 9).

Wyniki te często korelują się z oceną paleostruktur na podstawie stopnia metamorfizmu SO wyrażonego współczynnikiem R_0 , lecz niekiedy są od niej

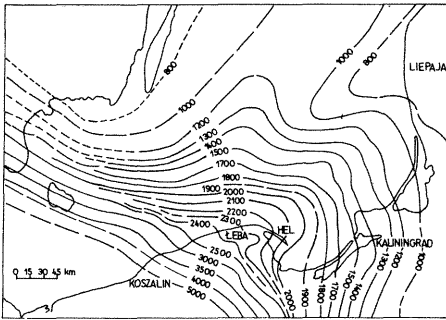


Fig. 6

Fig. 6. Mapa paleostrukuralna spągu utworów kambru środkowego w końcu syluru
Palaeostructural map of the base of the Middle Cambrian deposits at the end of the Silurian

Objaśnienia jak na fig. 4

Explanations as in Fig. 4

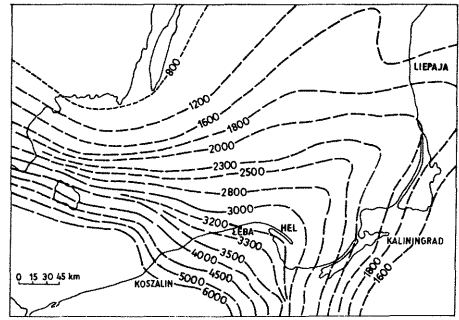


Fig. 7

Fig. 7. Mapa paleostrukuralna spągu utworów kambru środkowego w końcu dewonu
Palaeostructural map of the base of the Middle Cambrian deposits at the end of the Devonian

Objaśnienia jak na fig. 4

Explanations as in Fig. 4

różne. Dotyczy to zachodniej, polskiej strefy akwenu, gdzie dla osiągnięcia stwierdzonego w osadach kambru środkowego uwęglenia *SO* wyrażonego refleksyjnością wityrnytu — $R_o = 2,4$ (fig. 9) wymagana jest paleotemperatura ok. 175°C , która przy założonym paleogradiencie ($35^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$) występowałaby dopiero na głębokości ok. 5000 m . Podobne zróżnicowanie związane jest ze strefą Bornholmu, gdzie według B. Burchardta i A.T. Nielsena (1985) $R_o = 2,0$, jak i z rejonem Słupska (fig. 8). W Słupsku przegrzanie osadów doprowadziło do uwęglenia *SO* wyrażonego wielkością współczynnika R_o od $5,4$ do $5,6$, co wskazuje na paleotemperaturę t_o ok. 250°C (pograżenie poniżej 7 km) i metagenetyczne stadium litogenezy (grafit), które większość autorów wiąże z zanikiem gazów metanowych. Również w rejonie Helu i Gdańska (fig. 3, 8) współczynnik R_o jest wyższy, zwłaszcza w Gdańsku, gdzie na obecnej głębokości $3150,0 - 3210,0\text{ m}$ wynosi on $1,25 - 1,35$, a na głębokości 3222 m nawet $1,4$, co wskazuje na paleotemperaturę ok. 150°C . Głębokość pograżenia osadów wymagana dla tej temperatury przy paleogradiencie $30^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ wynosi ok. 5000 m .

Pojedyncze dane z radzieckiej, przybrzeżnej części syneklizy bałtyckiej, określające stopień metamorfizmu *SO*, są ogólnikowe i nie wyrażają liczbowych wartości współczynnika R_o . Dla utworów kambru środkowego podano, że *SO* osiągnęła stadium węgla długopłomiennych (Gusiew) i długopłomiennie-gazowych (Krasnoborsk), co można korelować ze współczynnikiem R_o $0,53 - 0,9$. Zaskoczeniem natomiast jest bardzo niski stopień przeobrażenia *SO* osadów ordowiku, równy stadium węgla brunatnych ($R_o = 0,25 - 0,53$). Utwory te nie osiągnęły zatem progu termicznego umożliwiającego generowanie węglowodórów, a zawarta w nich ropa jest epigenetyczna.

Zmienny jest stopień metamorfizmu *SO* utworów syluru: najniższy na północnym (stadium węgla brunatnych), wyższy w części centralnej i na południowym zachodzie (gdzie zmienia się od węgla brunatnych do długopłomiennych i długopłomiennie-gazowych), a więc większy niż *SO* utworów ordowiku (I.S. Goldberg i in., 1975).

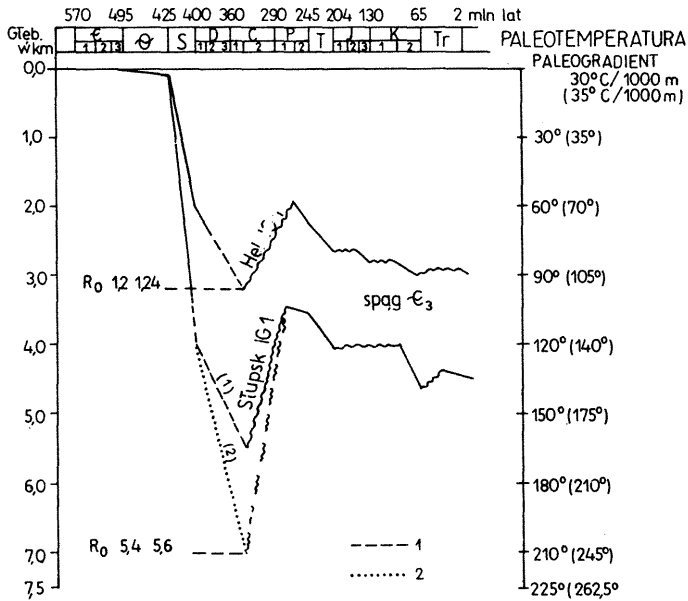


Fig. 8. Zmienność geodynamiczna stropu utworów kambru środkowego w punktach otworów Słupsk IG 1 i Hel IG 1

Geodynamic variation of the top of the Middle Cambrian deposits in the Słupsk IG 1 and Hel IG 1 boreholes

Rekonstruowana subsydenca (Słupsk IG 1): 1 – dewon ok. 1000 m, karbon dolny ok. 500 m; 2 – dewon ok. 2000 m, karbon dolny ok. 1000 m

Reconstructed subsidence (the Słupsk IG 1 borehole): 1 – Devonian about 1000 m, Lower Carboniferous about 500 m; 2 – Devonian about 2000 m, Lower Carboniferous about 1000 m

W polskiej części syneklizy bałtyckiej wskaźnikowe dane R_0 w utworach ordowiku (Żarnowiec, Hel, Gdańsk) wykazują wartości 0,75–1,35, niekiedy o rozkładzie bimodalnym, co wskazuje na obecność materiału allochtonicznego. Podobnie w utworach syluru, rozpiętość współczynnika R_0 jest znaczna – od 0,67 (Sępól 2) do 2,73 (głębokość 3271,15 m, landower, Łębork IG 1), co odpowiada paleotemperaturze powyżej 180°C, wymagającej pograżenia osadów na głębokość ok. 5,5 km (!).

Rozbieżności między oceną paleotemperatur na podstawie współczynnika R_0 i analizy geodynamicznej znane są m.in. z obszaru RFN (J. Majorowicz, 1977) i regionu lubelskiego (J. Majorowicz, 1977; S. Depowski, J. Majorowicz, 1979; J. Majorowicz i in., 1983; A. Witkowski i in., 1984), co wyjaśnianie jest bądź lokalnym przegrzaniem związanym z magmatyzmem, bądź też okresowym regionalnym zwiększeniem strumienia ciepłego, wiążącym się ze zmianą pola geotermicznego, spowodowanego np. rozwojem wglębnych rozłamów.

Dla polskiej, wschodniej części syneklizy bałtyckiej, gdzie, jak wykazano, osady starszego paleozoiku – zawierające skały potencjalne macierzyste – nie osiągnęły w czasie ewolucji geologicznej obszaru pograżenia na głębokość, umożliwiającą przekroczenie krytycznego progu paleotemperatury uruchamiającej ich potencjał generacyjny. J. Motyl-Rakowska (1976) wysunęła tezę, że temperatury te wytworzone zostały w wyniku wulkanizmu karbońskiego. Tak więc być może właśnie ten czynnik odpowiedzialny jest za pewne wymienione wyżej anomalie.

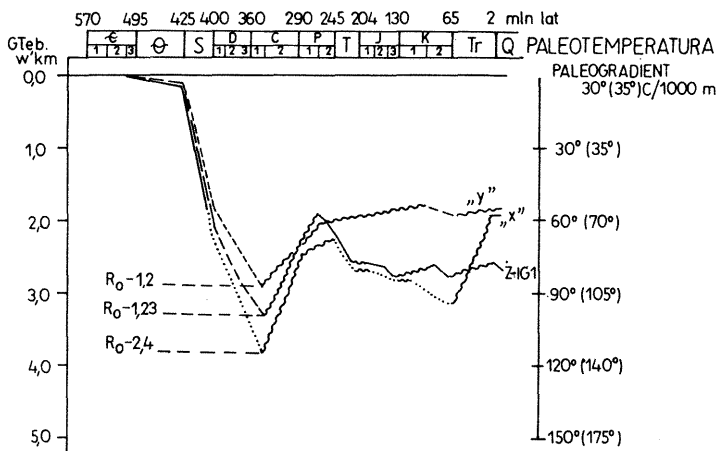


Fig. 9. Zmienność geodynamiczna spągu utworów kambru środkowego na wyniesieniu Łeby i w akwencie Morza Bałtyckiego

Geodynamic variation of the base of the Middle Cambrian deposits in the Łeba Elevation and the Baltic Sea area

Migracja węglowodorów dolno- i środkowokambryjskich rozpoczęła się równocześnie z ich generowaniem w końcu syluru dolnego (wenlok) i w pierwszej fazie, bliskiej migracji lateralnej, przebiegała wolno. Zasadnicza faza migracji nastąpiła w dolnym dewonie (zigen) w związku z przebudową strukturalną. W tym etapie mogła nastąpić migracja daleka, na odległość kilkudziesięciu i więcej kilometrów. Migracja ta kontynuowała się również po dewonie w warwyscyjskim cyklu tektonicznym.

Pierwsza, podolnosylurska faza migracji skierowana była z najbardziej pograżonych osadów na zachodzie i południowym zachodzie ku północy i północnemu wschodowi. W głównej, intensywnej fazie migracji dewońskiej kierunki te były zbliżone, a we wschodniej części syneklizy przeważał kierunek wschodni. Podobnie kształtowały się kierunki migracji warwyscyjskiej, z wyjątkiem południowo-wschodniej części syneklizy, gdzie wypiętrzanie masywu mazursko-białoruskiego spowodowało, że migracja węglowodorów z głębszych części niecki gdańskiej i przyległej radzieckiej części syneklizy zmieniła kierunek ku południowi i południowemu wschodowi.

Złoża węglowodorów w syneklizie bałtyckiej zaczęły powstawać na przełomie syluru i dewonu dolnego oraz w zigenie, a głównie po dewonie – karbonie dolnym przed inwersją późnowarwyscyjską. Według W. Strzetelskiego (1979) pierwsza, główna faza migracji odbyła się w zigenie, a większość autorów zgodna jest, że związane to było z zakończeniem kaledońskiego cyklu tektonicznego. W okresie ruchów warwyscyjskich i w etapie powarwyscyjskim dalsza migracja i akumulacja węglowodorów po inwersyjnej przebudowie strukturalnej były już mniej intensywne.

Analiza występowania złóż ropy naftowej w radzieckiej części syneklizy bałtyckiej wskazuje, że pułapki przydyslokacyjne nieco częściej związane są z uskokami o kierunkach południkowym i subpołudnikowym niż z systemem równoleżnikowym; to samo dotyczy polskiego sektora Morza Bałtyckiego.

W czasie inwersji warwyscyjskiej, w strefie obecnego zbocza wypiętrzenia mazursko-białoruskiego, stanowiącego obrzeżenie syneklizy, nastąpiło rozfor-

mowanie i destrukcja wcześniej nagromadzonych węglowodorów. Na pozostałym obszarze, w zachodniej i północnej części regionu, gdzie kaledońskie pułapki złożowe nie uległy temu procesowi, akumulacja starszych węglowodorów została zachowana i mogła być powiększona w wyniku późniejszej permsko-mezozoiczno-kenozoicznej migracji. Perspektywicznymi do poszukiwań w polskiej części syneklizy bałtyckiej są utwory piaszczyste kambru środkowego poziomu *Paradoxides paradoxissimus* na zachód od południka Pasłęka.

Wschodnia część syneklizy, mimo śladów ropy naftowej, jest pozbawiona perspektyw dla poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, gdyż wcześniejsze akumulacje zostały rozformowane w czasie przebudowy waryscyjskiej, a późniejsza ewolucja obszaru i warunki paleogeotermiczne nie doprowadziły do wznowienia generowania.

Osady starszego paleozoiku młodsze od kambru są w północnej Polsce nieperspektywiczne dla prospekcji naftowej.

Zakład Geologii Węglowej Nizu
Państwowego Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nadesłano dnia 22 grudnia 1988 r.

PIŚMIENNICTWO

- ALPERN B., BOSTICK N. (1979) — Petrographie de la materie organique dispersee des sediments petrography and genesis of coal. VIII Inter. Congr. Strat. Geol. Carbon, 4. Nauka. Moskwa.
- BURCHARDT B., NIELSEN A.T. (1985) — Carbon and oxygen isotope composition of Cambro-Silurian limestone and anthraconite from Bornholm: Evidence for deep burial diagenesis. Bull. Geol. Soc. Denmark, 33, p. 415–435.
- DEPOWSKI S., MAJOROWICZ J. (1979) — Warunki geotermiczne i ich wpływ na rozmieszczenie nagromadzeń węglowodorów w zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej. Prz. Geol., 27, p. 232–238, nr 4.
- MAJOROWICZ J. (1977) — Analiza pola geotermicznego Polski na tle Europy ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień tektonofizycznych i hydrogeotermicznych. Prz. Geol., 25, p. 135–143, nr 3.
- MAJOROWICZ J. (1978a) — Możliwości wykorzystania węglonego rozpoznania warunków geotermodynamicznych w badaniach występowania węglowodorów. Prz. Geol., 26, p. 43–49, nr 1.
- MAJOROWICZ J. (1978b) — Związki pola geotermicznego z uwęgleniem w polskich basenach węglowych. Kwart. Geol., 22, p. 497–508, nr 3.
- MAJOROWICZ J. (1982) — Wieloznaczność tektonicznej interpretacji rozkładu pola geotermicznego na obszarach platformowych Polski. Prz. Geol., 30, p. 86–94, nr 2.
- MAJOROWICZ J., MAREK S., ZNOSKO J. (1983) — Paleogeotermika centralnego i południowo-wschodniego Nizu Polskiego i jej wpływ na generowanie i zachowanie węglowodorów. Kwart. Geol., 27, p. 1–23, nr 1.
- MOTYL-RAKOWSKA J. (1976) — Rola uskoków w migracji i akumulacji węglowodorów w utworach paleozoicznych polskiej wschodniej części syneklizy bałtyckiej. Wyd. Geol. Warszawa.
- PUSEY W.C. (1973) — The ESR method: a new technique of estimating the organic maturity of sedimentary rocks. Petrol Times, nr 12, p. 21–24.

- STRZETELSKI W. (1979) — Litofacja i szczelinowatość roponośnych utworów kambru w syneklizie perybałtyckiej. Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN Krak., **116**.
- WAPLES D.W. (1980) — Time and temperature in petroleum formation: application of Lopatin's method to petroleum exploration. Am. Ass. Petrol. Geol., **64**, p. 916—926, nr 6.
- WITKOWSKI A. i in. (1984) — Analiza warunków geodynamicznych oraz ropo-gazoność utworów dewonu i karbonu celem wyznaczenia nowych stref perspektywicznych. Problem węzłowy 0.1.1. zadanie 02.01.05. Arch. Inst. Geol. Warszawa.
- ВАССОЕВИЧ Н. и др. (1969) — Главная фаза нефтеобразования. Вест. Моск. Унив., № 6, стр. 3—27. Москва.
- ГОЛДБЕРГ И.С. и др. (1975) — Характеристика рассеянного органического вещества отложений палеозоя Балтийской синеклизы. Труды ВНИГРИ, **368**, стр. 73—89. Ленинград.
- КАРЦЕВ А.А. и др. (1971) — Главные стадии формирования нефти. Труды 8 Всем. Петрол. Конгр., **2**, стр. 22—30. Лондон.
- ЛОПАТИН Н.В. (1971) — Температура и геологическое время как факторы углефикации. Изв. АН СССР, сер. геол., № 3, стр. 95—106. Москва.

Анджей ВИТКОВСКИ

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ НЕФТЕНОСНОСТИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Резюме

Для воспроизведения в старопалеозойских отложениях структурного комплекса процессов генерирования, миграции и аккумуляции углеводородов в месторождения нефти и природного газа на территории континентальной и морской частей балтийской синеклизы, применялся метод палеогеодинамического анализа. При реконструкции оценочной величины геотермического палеоградиента в древнем палеозое была использована карта современного распределения геотермического градиента (фиг. 2) по С. Дёповскому и Я. Майоровичу (1979). Согласно трудам Я. Майоровича (1977, 1978a, b, 1982) был принят палеоградиент больше современного на 5—10°C.

В палеогеодинамическом анализе была проведена реконструкция субсиденции компенсированной седиментацией старопалеозойского бассейна за период ордовик—девон. Представлена изменчивость палеоструктурного положения подошвенной поверхности отложений среднего кембрия в конце ордовика (фиг. 4), в нижнем силуре (фиг. 5), силуре (фиг. 6) и девоне (фиг. 7).

На этом основании, принимая во внимание зависимость генерирования нефти и природного газа от палеотемпературы (фиг. 1), по коррелятивной диаграмме Н. Вассоевича и др. (1969) было определено время генерирования углеводородов в отдельных зонах перибалтийской синеклизы. Генерирование нефти из материнских отложений нижнего и среднего кембрия раньше всего (венлок) происходило в юго-западной прикраевой части синеклизы, после погружения осадков на глубину 2000 м (фиг. 5). Значительная субсиденция компенсированная в верхнем силуре привела к погружению осадков кембрия всей западной и юго-западной частей балтийской синеклизы к линии Вислы, на глубину более 2000 м, что сделало возможным расширение территории генерирования нефти. В то время из более глубоких зон ЮЗ части кембрийские отложения (прежде всего нижнего кембрия и частично среднего)

начали генерирование метановых газов (фиг. 6). В районе Клайпеды, где геотермический палеоградиент был аномально высокий, генерирование нефти началось раньше, при погружении кембрийских осадков на глубину 1200–1300 м (фиг. 2).

В конечной фазе субсиденции девонского бассейна палеотермический порог t° 60°C превысило большинство осадков кембрия почти на всей территории южной части Балтийского моря (фиг. 7). В прикраевой части платформы при достижении кембрийскими осадками t° выше 250°C, закончилась фаза генерирования метановых газов (фиг. 8).

При сравнении палеогеотермических данных полученных из палеоструктурного анализа с результатами исследования коэффициента отражения (R_v) для районов Борнхольма, Слупска и Гданьска были обнаружены несогласности указывающие на существование в геологическом прошлом местного перегрева осадков, связанного может быть с глубинными разломами (фиг. 3, 8, 9).

Миграция углеводородов началась одновременно с процессом генерирования (венлок); главная фаза миграции имела место в конце каледонской перестройки в зигене и продолжалась также во время варийской инверсии. Эта инверсия, а особенно бретонские и более поздние движения формирующие балтийскую синеклизу, привели к деструкции месторождений расположенных на ее юго-восточном склоне.

Кроме того, из проведенного анализа видно, что на территории польской восточной части синеклизы не было палеогеотермальных условий для образования месторождений углеводородов. Перспективность этого района ограничена меридианом Паслэнка.

Andrzej WITKOWSKI

GEODYNAMICAL AND GEOTHERMIC CONDITIONS OF OIL AND GAS BEARING IN THE SOUTHERN BALTIC

S u m m a r y

The paleogeodynamical analysis has been used to reconstruction processes of generation, migration and accumulation of hydrocarbons into oil and gas deposits in the Lower Palaeozoic structural complex in onshore and offshore parts of the Baltic Syncline. The map of the present geothermic gradient distribution (Fig. 2) — after S. Depowski and J. Majorowicz (1979) — has been used to reconstruction the estimated magnitude of geothermic palaeogradient in Lower Palaeozoic. The paleogradient higher by 5–10°C (in comparison to the present) has been assumed in accordance to S. Majorowicz (1977, 1978a, b, 1982).

Subsidence compensated by sedimentation in the Lower Palaeozoic basin when Ordovician—Devonian has been reconstructed with the palaeogeodynamic analysis. Alternation of a palaeostructural position of the Middle Cambrian bottom surface in the end of Ordovician (Fig. 4), Lower Silurian (Fig. 5), Silurian (Fig. 6) and Devonian (Fig. 7) has been presented.

Duration of hydrocarbon generation in particular zones of the Baltic Syncline has been determined on the basis of dependency of oil and gas generation on palaeotemperature (Fig. 1), according to the correlation diagram after N. Wassojewicz et al. (1969). Generation of oil from source rocks of the Lower and Middle Cambrian took place at the earliest at Wenlockian in the south-western, near-margin part of syncline after the posits sank into the depth of 2000 m (Fig. 5). Considerable subsidence compensated by the Upper Silurian sedimentation led to sinking the Cambrian deposits in the whole western and south-western parts of the Baltic Syncline up to the Vistula line into the depth exceeded 2000 m, which allowed increasing the oil generation area. The

same time the Cambrian deposits (mainly Lower and partly Middle Cambrian) begun to generate methane gases (Fig. 6). In the Klaipeda region where the geothermic palaeogradient was anomalous high, oil generation begun earlier, during sinking the Cambrian deposits into the depth of 1200–1300 m (Fig. 2).

At the end of subsidence of the Devonian basin, the majority of the Cambrian deposits exceeded the palaeothermic threshold $t^{\circ} 60^{\circ}\text{C}$ almost in the whole area of the Southern Baltic (Fig. 7). In the near-marginal part of the platform, the methane gas generation phase was ended (Fig. 8) after the Cambrian deposits had reached t° exceeding 250°C .

Comparing the palaeogeothermic data from the palaeostructural analysis with results from investigation of the reflection coefficient (R_o) from Bornholm, Słupsk and Gdańsk regions, divergences have been stated, indicated existence in the geological past the local overheating areas connected perhaps with deep fractures (Fig. 3, 8, 9).

The hydrocarbon migration begun simultaneously with the generation process (Wenlockian); a main phase of migration took place at the end of the Caledonian reconstruction of the area in Siegenian and continued also during the Variscan inversion. This inversion, especially the Bretonian and subsequent movements shaping the Baltic Syncline led to destruction of deposits located on its south-eastern slope.

Moreover, the results show that in the eastern Polish part of the syncline there were no palaeogeothermic conditions for formation of hydrocarbon deposits. Perspectives of this region does not exceed the Paśćek meridian.