

**MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA IMPULSOWEGO PROFILOWANIA
NEUTRON—NEUTRON DO BADANIA KONTAKTU WODA—ROPA
NA TLE PERSPEKTYWICZNYCH SERII STRATYGRAFICZNYCH
I REGIONÓW OBSZARU POLSKI**

UKD 550.832.54:553.982+556.3:551.73(438)

Od kilku lat tak w USA, jak i ZSRR do wydzielenia horyzontów roponośnych oraz badania kontaktu wodno-ropnego stosuje się na skalę przemysłową impulsowe profilowanie neutron-neutron (IPNN) (1, 6, 8, 10). Oparte jest ono na wykorzystaniu impulsowego źródła neutronów (generatora) i pomiarze gęstości neutronów, które uległy spowolnieniu i dyfuzji w skałach. Gęstość neutronów zmniejsza się w czasie zależnie od ich średniego czasu życia τ w badanym ośrodku. Wielkość τ zależy przede wszystkim od składu chemicznego ośrodka, dlatego zwiększenie zawartości pochłaniających pierwiastków w badanym ośrodku prowadzi do szybszego zmniejszenia się w nim w czasie gęstości neutronów termicznych. W ten sposób mierząc zmiany gęstości neutronów po określonym czasie od chwili wysłania impulsu neutronowego można badać charakter nasycenia skał ropą i wodą, a zwłaszcza wyznaczać kontakt wodno-ropny.

W Polsce prowadzone są intensywne prace przygotowawcze nad zastosowaniem impulsowego generatora neutronów w praktyce przemysłowej. Podstawę analizy przeprowadzonej przez autorkę w celu zbadania możliwości zastosowania impulsowego profilowania neutron-neutron w polskich warunkach geologiczno-złożowych do wydzielenia horyzontów produkcyjnych i wyznaczania kontaktu wodno-ropnego w poszczególnych rejonach poszukiwawczych i seriach stratygraficznych stanowiło:

— określenie wielkości średniego czasu życia neutronów termicznych dla różnych litologicznie typów skał i rejonów poszukiwawczych (2);

— określenie średniego czasu życia neutronów dla wód złożowych towarzyszących złożom ropy naftowej (3);

— badanie różnicowania się średniego czasu życia neutronów termicznych w warstwie wodonośnej, roponośnej i na ich kontakcie zależnie od porowatości, nasycenia oraz mineralizacji wód złożowych (4, 5).

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń oraz analizy otrzymanych wyników zarysowują się pewne możliwości zastosowania impulsowych generatorów neutronów w polskich warunkach geologiczno-złożowych dla badania roponośności skał. Możliwości te zostaną naświetlone na tle schematycznego przeglądu perspektywicznych dla poszukiwań ropy naftowej rejonów geologicznych Polski (7, 9).

I. KAMBR — SYLUR

Jako bardzo perspektywiczne uważane są utwory kambru, następnie ordowiku i częściowo syluru obszaru platformowego (wyniesienie Łeży, synekлиза perybałtycka, obniżenie podlaskie). W utworach tych stwierdzono dobre warunki zbiornikowe oraz liczne objawy ropy w piaskowcach kambryjskich.

Porowatość K_p piaskowców kambru na obszarze północnej części syneklify perybałtyckiej wynosi od ok. 11 do 27%, a niekiedy nawet ponad 30%. W obniżeniu podlaskim maksymalna ich porowatość dochodzi do 22%. Zasolenie wód złożowych jest dość duże i wynosi od około 80 do 100 g/l w części wschodniej obszaru, do około 200 g/l w zachodniej.

W ordowiku oraz dolnym sylurze skałami zbiornikowymi są głównie wapień zrostkowe, a w niektórych rejonach występujące również w spągu ordowiku

ku piaskowce. W kambrze i ordowiku, a zwłaszcza w sylurze występują też liczne serie ilaste, tworzące dobre uszczelnienie dla niżejleżących skał zbiornikowych.

Z powyższej charakterystyki geologicznej można wnioskować, że w utworach kambru-syluru będą korzystne warunki dla zastosowania impulsowych profilowań neutronowych do badania ich roponośności. Przemawia za tym zarówno charakter zbiornikowego (porowate piaskowce i wapień), jak i panujące tu stosunki wodne ($\tau_{w} = 95-52 \mu s$, gdy dla ropy naftowej $\tau = 206 \mu s$) (2, 3). Być może, iż pewne ograniczenia mogą wystąpić przy badaniu utworów perspektywicznych syluru ze względu na znaczne jego zalienie.

II. DEWON — KARBON

W rozpoznaniu obszarów występowania węglodorów w utworach dewonu i karbonu na czołowe miejsce wysuwa się obszar lubelski, gdzie stwierdzono przemysłowy przypływ gazu z utworów środkowego dewonu, jak również objawy ropy z utworów górnego dewonu. Oprócz tego notowano silne objawy ropy w utworach karbonu górnego. Wydaje się, że perspektywiczność omawianych utworów wzrasta w kierunku NW, tj. w kierunku synklinorium warszawskiego.

Na obszarze rowu lubelskiego za najbardziej perspektywiczne uznaje się ogniwą środkowe i górne dewonu, ponieważ występujące tu piaskowce, wapień i dolomity posiadają stosunkowo dobre własności kolektorskie. W piaskowcach porowatość wynosi do kilkunastu procent. Wapień i dolomity swoje własności kolektorskie zawdzięczają licznym kawernom i szczelinom, porowatość jest w nich mniejsza niż w piaskowcach, gdyż dochodzi do 10%.

Z dotychczasowych obserwacji wynika, że w karbonie jako serie kolektorskie godne uwagi są wklądki piaskowców karbonu górnego, w których porowatość efektywna dochodzi do kilkunastu procent. Za zbiornikowe mogą tu być również uważane skały węglanowe, o porowatości dochodzącej do 10%. Występujące w poziomach karbonu i dewonu wody złożowe charakteryzują się znacznym zasoleniem.

Do obszarów perspektywicznych zalicza się także rejon północnej części synklinorium brzeźnego i część antyklorium pomorskiego. W strefie tej, w obrębie dewonu można wydzielić następujące serie kolektorskie:

— dewon dolny wykształcony głównie w postaci piaskowców, o porowatości od 0,3 do 15,5%; obserwowano tu jedynie nieznaczne ślady bituminów;

— w dewonie środkowym najlepsze własności kolektorskie posiada kompleks piaskowcowy, porowatość piaskowców w otworze M-1 wynosi od 0,5 do 15,6%. W utworach tych były częste, lecz niewielkie przejawy bitumiczne;

— w dewonie górnym własności kolektorskie posiadają kawerniste wapień i dolomity, które w otworze G-1 dawały ślady ropy i gazu w rdzeniach wiertniczych.

Serie kolektorskie karbonu na omawianym obszarze przedstawiają się następująco:

— w karbonie dolnym serie piaskowców ilastych i wapienistych, które w otworze G-1 posiadają porowatość 0,8—9,3%;

— w karbonie górnym serie ilasto-piaszczyste.

W karbonie nie notowano większych przejawów bitumicznych. Również i w tym rejonie wody złożowe są znacznie zmineralizowane.

Do obszarów perspektywicznych o mniejszych rozmiarach zalicza się rejon przedgórza zachodniego oraz paleozoiczną nieckę między wyniesieniem Puszcy i Ropczyc. W rejonie tym występują piaszczyste utwory dewonu dolnego i węglanowe osady dewonu środkowego i górnego wtrónie porowate, w których również stwierdzono objawy ropy i gazu.

Z przedstawionej charakterystyki perspektywicznych utworów dewonu i karbonu wynika, że w rowie lubelskim występują korzystne warunki dla zastosowania impulsowych profilowań neutronowych. Skąły zbiornikowe tak dewonu, jak i karbonu posiadają bowiem odpowiednie porowatości oraz mineralizacje wód złożowych zabezpieczające (w przypadku odpowiednich nasyceń ropą) dostateczne różnicowanie wartości średniego czasu życia neutronów termicznych między roponośną a wodonośną częścią zbiornika (4). Podobnie przedstawia się zagadnienie badania utworów dewonu w synklinorium i antyklorium pomorskim, natomiast występujące tu zailenie utworów karbonu w poważnym stopniu ograniczy możliwości prowadzenia tych badań (5).

III. PERM

W permie perspektywiczne są utwory czerwonego spągowca, wapienia podstawowego i dolomitu głównego cechsztynu. Perspektywy poszukiwań w utworach czerwonego spągowca oraz wapienia podstawowego zarysowują się najwyraźniej na obszarze monokliny przedsudeckiej. Na podstawie licznych wierceń stwierdzono, iż porowate piaskowce czerwonego spągowca (średnio $K_p = 12\%$) oraz wapienia podstawowego cechsztynu (ok. 7%) tworzą tu przeważnie jeden zbiornik masywowy nasycony gazem ziemnym.

Drugim obszarem, gdzie utwory czerwonego spągowca występują na głębokości dogodnej dla penetracji wiertniczej, jest część synklinorium i antyklorium pomorskiego oraz NW obrzeżenie Gór Świętokrzyskich.

Ropo i gazonośność utworów dolomitu głównego cechsztynu stwierdzona została dotychczas tylko na monoklinie przedsudeckiej, gdzie uzyskano przemysłową produkcję ropy naftowej. Porowatość skał węglanowych dolomitu głównego jest bardzo mała i zwykle nie przekracza kilku procent, a sporadyczne próbki wykazują porowatość do kilkunastu procent ($K_p = 0,3 - 0,8\%$ na złożu Pomorsko, poniżej 5% na złożu Rybaki). Mineralizacja wód złożowych jest wysoka i wynosi przeważnie powyżej 200 g/l.

Objawy węglowodorów w utworach cechsztynu stwierdzono ponadto w rejonie synklinorium warszawskiego. Silne przejawy ropy zaobserwowano na wyniesieniu Łeby oraz antyklorium pomorskim. Wykształcenie litologiczne kolektorów w NW Polsce jest znacznie korzystniejsze niż na monoklinie przedsudeckiej. Porowatość dolomitu głównego jest wielokrotnie wyższa niż w roponośnych złożach monokliny przedsudeckiej. Również w syneklizie perybałtyckiej są duże mineralizacje i np. wynoszą od ok. 80 g/l w części wschodniej do ponad 100 g/l w części środkowej.

Na podstawie powyższej charakterystyki oraz wyników teoretycznej analizy, dotyczącej możliwości wykorzystania średniego czasu życia neutronów termicznych do badania kontaktu wodno-ropnego (4, 5) można sądzić, że zastosowanie impulsowych generatorów neutronów w utworach dolomitu głównego cechsztynu możliwe będzie, oczywiście w przypadku nasycenia kolektora ropą w SW części Polski ze względu na wspomniane już wysokie mineralizacje wód złożowych, podwyższone i na ogół stałe porowa-

tości oraz stałe charakterystyki średniego czasu życia neutronów termicznych w mineralnym szkieletie skał (2). Na monoklinie przedsudeckiej mimo wysokich mineralizacji wód i stałości chemicznego składu szkieletu skał, mała porowatość, a przede wszystkim jej zmienność — poważnie ograniczą, a niekiedy wręcz uniemożliwią zastosowanie impulsowych generatorów neutronów.

IV. TRIAS

Na całym obrzeżeniu sedymentacyjnego basenu środkowopolskiego zwanego też wielkopolskim zarówno od strony platformy prekambryjskiej, jak też monokliny przedsudeckiej oraz Gór Świętokrzyskich utwory mezozoiczne, w tym także triasu ulegają wyraźnemu wydzwignięciu i wyklinowaniu. Oprócz tego wewnątrz basenu występują drugorzędne formy strukturalne w przeważającej części związane z tektoniką solną, w których mogły znaleźć pomieszczenie węglowodory migrujące z głębi basenu. Strefa synklinorium szczecińskiego oraz strefa przejścia z monokliny przedsudeckiej w synklinorium mogileńsko-łódzkie tworzą dostatecznie izolowany pas, w którym węglowodory mogły zachować się w pułapkach strukturalnych. Na obszarze tym w południowej części niecki łódzkiej stwierdzono ślady ropy w utworach kajpru. Objawy węglowodorów notowano również w synklinorium warszawskim oraz pomorskim.

Do skał zbiornikowych w triasie przede wszystkim zalicza się piaskowce dolnego i środkowego pstrego piaskowca. Obok piaskowców bardziej zbitych i zalonych (mułowcowych) występują tu piaskowce o porowatościach zwiększonych, osiagających około 20%. Dalej można wyróżnić poziomy perspektywiczne wapieni należących do dolnego wapienia muszlowego oraz piaskowce dolnego i górnego kajpru (piaskowiec trzcinyowy). Własności zbiornikowe piaskowców kajpru są nieco gorsze niż dolnego i środkowego pstrego piaskowca, porowatości ich bowiem wahają się w granicach 10—12%.

Analizy wód triasu wykazują, że utwory te są na ogół dobrze izolowane. mineralizacje wód złożowych są rzędu 50—100 g/l. Dotychczas w utworach triasu odkryto jedno złożo gazu ziemnego na Przedgórzu Karpat oraz notowano niezbyt liczne objawy w innych rejonach.

Możliwość zastosowania impulsowych generatorów neutronów w omawianych utworach (w przypadku dostatecznego nasycenia ich ropą) zarysowują się dla porowatych piaskowców pstrego piaskowca, a także dla wapieni muszlowego wapienia. Ze względu na występujące tu niższe mineralizacje wód niż w paleozoiku należy spodziewać się mniejszego kontrastu wielkości średniego czasu życia neutronów termicznych między roponośną a wodonośną częścią warstwy. Znacznie bardziej ograniczona będzie możliwość badania zbiornikowych skał kajpru z powodu zailenia tych utworów oraz niższej porowatości (2, 5).

V. JURA — KREDA — TRZECIORZĘD

Utwory jury i kredy występują na terenie większej części Niżu Polskiego, Przedgórza oraz Karpat. W przypadku dostatecznej izolacji za perspektywiczne uważane są wapienie keloweju i kimerydu oraz piaszczyste utwory liasu, doggeru i dolnej kredy. Utwory piaszczyste charakteryzują się dobrymi własnościami zbiornikowymi, ich średnia porowatość wynosi około 15%, a czasami nawet ponad 20%. Również dość duże porowatości posiadają wapienie (np. w synklinorium warszawskim od 9—20%). Perspektywy poszukiwań w jurze i kredzie na obszarze platformowym są znakomite. Obserwuje się tu wysłodzenie wód do głębokości około 1000 m. W przypadku więc wcześniejszego nagromadzenia węglowodorów zaistnieć mogły niekorzystne warunki ich zachowania wskutek procesów migracji. Na pozostałej części Niżu Polskiego, w niecce miechowskiej, na Przedgórzu i w Karpatach stwierdzono liczne objawy ropy i gazu w utworach kredowo-jurajskich oraz odkryto złoża tych kopalin.

Nadległe utwory trzeciorzędu posiadają dostateczne miąższości dla nagromadzenia węglowodorów jedynie na terenie Przedgórze Karpat fliszowych. Największe perspektywy odkrycia ropy wiążą się z głębokimi fałdami w utworach fliszu oraz ich mezozoicznym podłożem. Na Przedgórzu odkryto kilka złóż gazu ziemnego, głównie w ilasto-piaszczystych utworach miocenu. Dalsze perspektywy poszukiwawcze w tym rejonie zarysowują się w utworach sarmatu, a zwłaszcza mezozoiku (kreda, jura) zarówno przed czołem Karpat, jak i pod ich nasunięciem.

Mineralizacja wód złożowych w utworach jurajskich waha się 10 g/l do 100 g/l, z tym że w większości przypadków jest rzędu 50 g/l. Mineralizacja wód złożowych kredy i trzeciorzędu są mniejsze.

Zastosowanie impulsowych generatorów neutronów do badania roponośności zbiorników jurajsko-kredowych oraz trzeciorzędowych wydaje się niecelowe. Mimo że omawiane kolektory charakteryzują się na ogół wysokimi porowatościami, to występujące w nich niskie mineralizacje wód złożowych oraz zailenienie tych utworów praktycznie uniemożliwiają zróżnicowanie się wielkości średniego czasu życia neutronów termicznych między roponośną a wodonośną częścią warstwy (4, 5).

WNIOSKI

Sumując można stwierdzić, iż korzystne warunki dla zastosowania impulsowych profilowań neutronowych w polskich warunkach geologiczno-złożowych występują w przypadku badania zbiornikowych skał paleozoiku. Przemawiają za tym wysokie mineralizacje wód złożowych, na ogół wysokie porowatości skał zbiornikowych oraz mała zmienność chemicznego składu mineralnego tych skał.

Dla utworów młodszych, ze względu na małe mineralizacje wód złożowych oraz znaczne zailenienie skał, zastosowanie impulsowych generatorów neutronów do badania roponośności warstw oraz badania położenia kontaktu wodno-ropnego będzie mocno ograniczone, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe. W takich bowiem warunkach albo w ogóle nie uzyska się odpowiednich zróżnicowań wielkości średniego czasu neutronów termicznych między roponośnymi a wodonośnymi poziomami, albo różnice te będą zbyt małe, aby można na ich podstawie uzyskać informacje o roponośności badanych utworów.

SUMMARY

The paper presents perspectives concerning the possibilities of using impulse neutron logging in examining the water-oil contact under Polish geological conditions. These possibilities are presented in the light of a schematic review of sedimentary basins and geological regions of Poland, promising in search for crude oil. It has been ascertained that the best conditions for studying the water-oil contact, by means of impulse neutron generators are within the most reservoir rocks of Palaeozoic age.

W praktyce, nawet w najbardziej sprzyjających warunkach geologiczno-złożowych, nieodzowne będzie kompletowanie badań prowadzonych impulsowym generatorem neutronów ze standardowymi profilowaniami geofizycznymi.

LITERATURA

1. Aleksiejew F. A., Biespałow D. F., Gorbunow G. W. i in. — Impulsnyj skwaziannyj gienierator nejtronow i jewo primienienije w jadiernoj gieofizikie. Radioisotope instruments in industry and geophysics. IAEA, Vienna, 1966.
2. Balowa Z. — Średni czas życia neutronów termicznych dla skał obszaru Polski. Geofiz. i Geol. naft. 1969, nr 5—7.
3. Balowa Z. — Średni czas życia neutronów termicznych dla wód złożowych obszaru Polski. Ibidem, 1969 nr 8—9.
4. Balowa Z. — Średni czas życia neutronów termicznych dla zbiornikowych skał nasyconych ropą naftową i wodą złożową. Nafta (w druku).
5. Balowa Z. — Kształtowanie się średniego czasu życia neutronów termicznych na kontakcie wodno-ropnym. Geofiz. i Geol. naft. (w druku).
6. Basin J. N., Bałwas J. P., Kucharienko N. K. i in. — Ispolzowanije impulsnogo nejtronnogo karotaża w kompleksie promysłowo-gieofiziczeskich mietodow pri kontrole za rozrabotkoj nieftianych miestorożdzenij w usłowiah ponizhennoj mineralizaczi plastowych wod. Sbornik dokładow i soobszczenij sowieszczanija spetsjalistow. Wyd. SEV, Moskwa, 1968.
7. Karnkowski P. — Przegląd perspektyw poszukiwawczych za ropą naftową i gazem ziemnym. Wiad. naft. 1970, nr 6 i 7—8.
8. Marquis G. L., Wichmann P. A., Millis C. W. — Studies of producing reservoirs with the neutron lifetime log. Journal of Petroleum Technology. 1966. Vol. 18, No. 4.
9. Sokołowski J. — Charakterystyka geologiczna i strukturalna jednostek geologicznych Polski pod kątem poszukiwań bituminów. Sur. minera. t. I, 1968.
10. Youmans A. H., Hopkinson E. C. — Neutron lifetime logging in the Gulf Coast Area. Journal of Canadian Technology, 1965, Vol. 4, No. 2.

РЕЗЮМЕ

В статье представлены возможности использования импульсного нейтронного профилирования для исследования контакта вода — нефть в условиях распространения залежей нефти в Польше. Рассуждения проводятся в увязке с условиями строения бассейнов и геологических регионов Польши, перспективных для поисков нефти.

Констатируется, что наиболее благоприятные условия для исследования контакта вода — нефть с помощью импульсных нейтронных генераторов существуют в большинстве палеозойских пород.