

ZASTOSOWANIE PROFILOWAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ PRZY PROGNOZOWANIU WARUNKÓW EKSPLOATACJI ZŁÓŻ SIARKI METODĄ OTWOROWĄ

UKD 550.832.52 + 550.832.55 + 550.832.543 : 622.366.11'277.6 : 65.012.23''313''

W kompleksie metod geologicznych, wykorzystywanych przy poszukiwaniu, dokumentowaniu i eksploatacji złóż siarki rodzimej, ważne miejsce zajmują metody geofizyki wiertniczej. Na podstawie wyników badań geofizycznych jest możliwe uzyskanie fizycznego modelu złoża. Jego parametry stanowią: porowatość, zailenie, stopień osiarkowania, oporność, mineralizacja wód złożowych, prędkość fali akustycznej, gęstość objętościowa, temperatura, a także miąższość warstw złożowych, głębokość spągu i stropu złoża itp.

Dotychczasowy sposób określania litologii ma w dużym stopniu charakter subiektywny, poprawność wyników jest uzależniona przede wszystkim od doświadczenia interpretatorów. Opis litologiczny uzyskiwany dotychczas z analiz profilowań geofizyki wiertniczej potwierdza np. występowanie wapieni, margli, ilów, gipsów itp., nie podaje natomiast ilościowego opisu poszczególnych składników przewierconych skał siarkonośnych.

Sytuacja taka występuje w wypadku, gdy pomiary geofizyczne w całości lub częściowo są wyrażone w jednostkach nieporównywalnych. W wypadku pełnej kalibracji realizowanych profilowań powstaje możliwość ilościowego określenia parametrów skał siarkonośnych, takich jak: porowatość, zailenie, stopień osiarkowania. Wykorzystuje się w tym celu modyfikację metody tzw. korelacyjnych wykresów krzyżowych (1, 2, 9, 10). Zakłada się przy tym, iż przestrzeń porowa serii złożowej jest wypełniona wodą o znanym chemizmie oraz że profilowania PNG, PGG, PG reagują w podobny sposób na zailenie laminarne, dyspersyjne i strukturalne, a gęstość właściwa materiału ilastego dla skał i rozważanego obszaru wynosi 2,54 t/m³.

Ponieważ jednocześnie istnieją geologicznie potwierdzone przesłanki co do jednorodności składu mineralnego ilów, możliwe jest – co stwierdza wielu autorów (7, 8, 11) – wykorzystanie profilowania PG do wyznaczania zailenia skał siarkonośnej serii złożowej.

Przedstawiony na rycinie nomogram został opracowany przy spełnieniu powyższych założeń z wykorzystaniem następujących zależności:

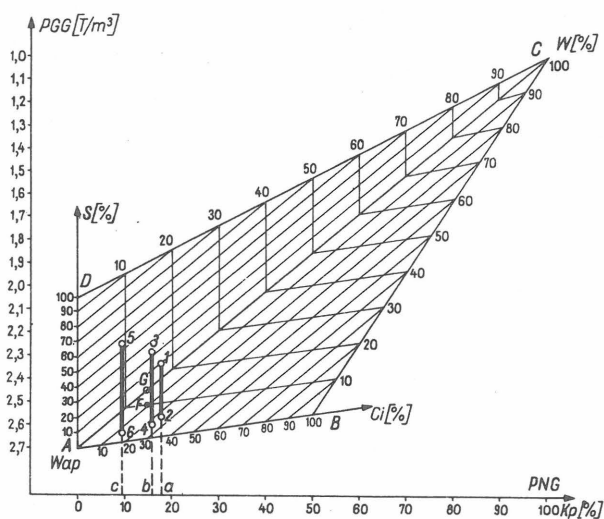
$$k_{p_{png}} = k_p \cdot kn_{sp} + m \cdot Vil \quad [1]$$

$$d_{pgg} = dw(1 - kp - S - Vil) + dil \cdot Vil + ds \cdot S + dc \cdot kp \cdot kn_{sp} \quad [2]$$

gdzie:

- $k_{p_{png}}$ – porowatość neutronowa odczytana z profilowania PNG,
- k_p – porowatość całkowita (ogólna, bezwzględna),
- kn_{sp} – nasycenie warstwy wodą,
- Vil – objętościowa zawartość minerałów ilastych w skale,
- m – porowatość neutronowego ilastego składnika skały,
- d_{pgg} – gęstość objętościowa skały zmierzona profilowaniem PGG,
- dw – gęstość właściwa wapienia,
- ds – gęstość właściwa siarki,
- dc – gęstość właściwa wody nasycającej pory skały,
- dil – gęstość właściwa iltu,
- S – objętościowa zawartość siarki.

Przykład wyników zastosowań metodyki korelacyjnych wykresów krzyżowych dla wyznaczania porowatości skały oraz stopnia jej osiarkowania przedstawiono na ryci-



Wykres korelacyjno-krzyżowy umożliwiający ocenę ilościową parametrów złoża siarki. Punkty opisane dużymi literami opisują: A – własności wapieni, B – ilów, C – wody, D – siarki; a, b, c – przykład interpretacji, F, G – przykłady obliczeń nomogramu.

Cross-correlative diagram enabling quantitative assessment of parameters of sulfur deposits. Points described with upper case letters show properties of: A – limestones, B – clays, C – water, D – sulfur; a, b, c – examples of interpretations, F, G – examples of calculations made using nomograph.

nie. Stosowanie tej metody jest możliwe przy pełnej standaryzacji i kalibracji wszystkich stosowanych profilowań radiometrycznych (1, 2, 9, 11). Zailenie określono z wykresu korelacyjnego neutronowo-gęstościowego dla wapieni, w których nie stwierdzono obecności siarki. Oszacowanie stopnia osiarkowania warstwy polega na określeniu współrzędnych, np. pkt 1, 3, 5 z odczytów profilowań PGG i PNG oraz współrzędnych pkt 2, 4, 6 z odczytów profilowań PG i PNG. Wielkość odcinków 1–2, 3–4, 5–6, wyrażona w jednostkach zailenia, opisuje ilościowo stopień osiarkowania badanego interwału, a wielkość współrzędnej pkt 2, 4, 6, odczytana na skali porowatości (linie równoległe do AB wykresu 1), jest porowatością badanego odcinka złoża. Wielkość osiarkowania jest podawana w procentach objętości skały.

Na podstawie powyższej metodyki przeprowadzono interpretację profilowań geofizyki wiertniczej wykonywanych w wielu otworach różnych rejonów siarkonośnych (np. Tarnobrzeg, Staszów). Stwierdzono na ogół dużą zgodność wyników interpretacji geofizycznej z danymi geologicznymi. Występujące rozbieżności znajdują swoje uzasadnienie w niepewności oceny poszczególnych parametrów zarówno metodami laboratoryjnymi, jak i geofizycznymi.

Do głównych przyczyn obserwowanych rozbieżności danych laboratoryjnych i geofizycznych należy wzajemne przesunięcie głębokościowe badanych tymi metodami odcinków, jak również i to, że wyniki tych pomiarów dotyczą różnych objętości badanej skały. Przypadkowy błąd pomiarów geofizycznych nie przekracza przedziału zależnego od dokładności stosowanych technik pomiarowych określonych przez klasę przyrządów i dokładność odczytów. Błędów tych nie można wyeliminować, jak to jest możliwe w odniesieniu do błędów grubych i błędów systematycznych. Przy zachowaniu reżimu technologicznego, obecnie stosowany sprzęt pomiarowy umożliwia na podstawie profilowań PNG, PGG, PG uzyskanie dokładności przy ocenie osiarkowania nie gorszej niż $\pm 5\%$ (7, 8).

W praktyce interpretacyjnej przy ocenie parametrów złożowych z profilowań geofizyki wiertniczej korzysta się często z metodyki „overlay” – nakładek (lub normalizacji porowatościowej). Stosowanie tej metodyki umożliwia w pewnych wypadkach ilościową interpretację profilowań wykonanych układami niekalibrowanymi. I tak, jeśli w opracowywanym profilu występują reperowe wkładki ilów lub gipsów o znanej gęstości, zaileniu, czy też są znane wyniki badań laboratoryjnych z pobranego rdzenia, to jest możliwe dobranie wspólnej skali porowatości dla profilowań PNG, PGG, PG itp. (4). Pewność uzyskiwanych tym sposobem informacji o strefie osiarkowanej (w takich wypadkach, gdy sprzęt pomiarowy nie jest kalibrowany) jest uzależniona przede wszystkim od własności warstw reperowych lub od reprezentatywności badań laboratoryjnych wykonywanych na próbkach pobranych ze złoża.

W odniesieniu do skał osiarkowanych zachodzi udowodniona wcześniej przez autora (PBG, 1979 r. wniosek racjonalizatorski) następująca przybliżona zależność:

$$S \approx V_{il} + \frac{kP_{pgg} - kP_{png}}{0.4} \quad [3]$$

Powyższa zależność umożliwia ilościowe określenie stopnia osiarkowania profilu również w wypadku występowania skał zailonych. Powyższe metodyki interpretacyjne mogą być wykorzystywane do oceny stopnia wyeksploatowania złoża, np. przez wykorzystanie metodyki „overlay” dla profilowań wykonanych przed eksploatacją i po jej zakończeniu można uzyskać (w sposób ciągły) obraz zmian własności złoża wywołanych eksploatacją. Przykład określenia stopnia wyeksploatowania złoża prezentuje ryc. 3. Profilowania z zastosowaniem geofizyki wiertniczej, wykonane w otworze Z-142, dokumentują stan złoża siarki przed rozpoczęciem cyklu eksploatacyjnego, natomiast profilowania wykonane w otworze R-205 zrealizowano po zakończeniu tego cyklu (odległość między omawianymi otworami wynosiła ok. 6 m, przy czym najlepiej byłoby porównywać pomiary z tego samego otworu; 6).

Metody geofizyki wiertniczej umożliwiają nie tylko ocenę parametrów górniczych złoża, ale mogą również służyć do oceny skuteczności stosowanej technologii eksploatacji siarki.

Nagromadzenie dużej ilości danych geologicznych, wiertniczych, eksploatacyjnych, geodezyjnych i geofizycznych dla tych samych otworów stwarza podstawy do wykorzystania wyników badań geofizycznych wykonywanych w fazie dokumentowania złoża przy prognozowaniu (5) możliwości eksploatacyjnych złoża. Niebagatelne znaczenie ma również możliwość określenia stanu technicznego otworów wiertniczych, którego znajomość jest istotna dla prowadzenia we właściwy sposób procesu eksploatacji.

Określenie miejsc dopływu gorącej wody, wykrycie krążenia wody poza kolumną rur, jak również określenie stanu cementacji rur okładzinowych, a także krzywizny odwiertu ma wpływ m.in. na bezpieczne prowadzenie eksploatacji siarki metodą otworową. Wszystkie te możliwości predysponują metody geofizyki wiertniczej do szerokiego stosowania zarówno w trakcie dokumentowania złóż siarki, jak i podczas ich eksploatacji metodą otworową.

LITERATURA

1. Czubek J. A. – Analiza i ocena opracowanych wzorców standaryzatorów do cechowania i standaryzacji sond radioaktywnych. Inst. Naft. Kraków 1973.

2. Frydecki J. — Współczesne koncepcje badań i ich interpretacja w geofizyce wiertniczej. Mat. Konf. N-T Wisła 1978.
3. Gawin A. — Odwiertowe profilowanie elektromagnetyczne w anizotropowym ośrodku skalnym. Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie 1972 nr 71.
4. Król L. — Stosowane sposoby normalizacji profiliowań geofizycznych w pracach interpretacyjnych geofizyki wiertniczej. Tech. Poszuk. Geol. 1979 nr 4.
5. Kubica B. — O możliwości prognozowania istotnych dla podziemnego wytopienia siarki parametrów geologicznych na przedpolu eksploatacji. Biul. Inst. Geol. 1978 nr 309.
6. Mucha J. — Geostatystyczny opis zmienności zawartości cynku i ołowiu na przykładzie fragmentu złoża kopalni „Bolesław”. Tech. Poszuk. Geol. 1978 nr 5.
7. Niewodniczański J., Roman S. — Metody ilościowej oceny zawartości siarki w rudzie rejonu Grzybowa na podstawie metod geofizyki wiertniczej z uwzględnieniem spektrometrii. Arch. OBRTG Kraków 1976.
8. Schlegel J. — Metody badań geofizycznych w zastosowaniu do wiertniczej eksploatacji siarki. Odwadnianie Kopalń i Geotechnika 1972 z. 3.
9. Szewczyk J. — Możliwości ilościowego określania litologii utworów cechsztynu metodami geofizyki wiertniczej. Geofizyka 1977 nr 2.
10. Tixier M.P., Alger R.P. — Log evaluation of non-metallic mineral deposits. Geophysics 1970 no. 1.
11. Wesołowska-Bała M. — Określenia zawartości siarki w skałach na podstawie metody profilowania gamma. Pr. Geol. 1969 nr 10.

SUMMARY

The interpretation of well logs for establishing mining parameters of sulfur deposit is markedly impeded by problems connected with evaluation of the influence of clay content on properties of sulfur-bearing limestones. The analysis of physical and geophysical properties of Miocene sulfur-bearing rocks made it possible to show validity of the following dependence usable for estimating the degree of sulfur content on the basis of gamma, gamma-gamma and neutron-gamma well logs:

$$S \approx V_{it} + \frac{kp_{pgg} - kp_{png}}{0,4}$$

where: S — volume content of sulfur in %, V_{it} — volume content of clay minerals in %, kp_{pgg} — rock porosity in limestone porosity units, established on the basis of gamma-

-gamma logs, kp_{png} — rock porosity in limestone porosity units, established on the basis of neutron-gamma logs.

Geophysical measurements supply a number of objective data and, at the same time, continuous information on deposit and surrounding rocks. They give information on the top, base and thickness of deposit, structure, lithology, porosity and permeability of deposit series, clay content as well as the degree of exploitation of the deposit.

Simultaneous use of geological, geophysical, mining as well as geodetic data concerning a given group of boreholes makes possible appropriate prognosis of conditions of exploitation of sulfur deposit.

РЕЗЮМЕ

В интерпретации результатов каротажа проведенного методами скважинной геофизики для определения пластовых параметров месторождения серы большим затруднением является определение влияния содержания ила на свойства сероносных известняков. На основании анализа физических и геофизических свойств миоценовых сероносных пород автор доказал правильность следующей зависимости предназначенной для определения содержания серы при помощи гамма-каротажа (PG), гамма-гамма-каротажа (PGG) и нейтронного гамма-каротажа (PNG):

$$S \approx V_{it} + \frac{kp_{pgg} - kp_{png}}{0,4}$$

где:

- S — содержание серы в %
- V_{it} — содержание глинистых минералов
- kp_{pgg} — пористость горной породы в единицах пористости известняка, определённая на основании гамма-гамма-каротажа (PGG)
- kp_{png} — пористость горной породы в единицах пористости известняка, определённая на основании нейтронного гамма-каротажа (PNG)

При помощи геофизических измерений получается много объективных и непрерывных информации о месторождении и окружающих породах. Эти информации касаются кровли, подошвы и мощности месторождения, структуры пластовой серии, её литологии, пористости, проницаемости, содержания ила, а также степени проведения эксплуатации месторождения. В случае одновременного использования геологических, геофизических, эксплуатационных и геодезических данных, касающихся определённой группы буровых скважин, возникает возможность прогнозирования условий эксплуатации месторождения серы.