

KAROTAŻ SELEKTYWNY GAMMA-GAMMA

UKD 550.835:622.241

Karotaż selektywny jest odmianą karotażu gamma-gamma. Gdy przy karotażu gamma-gamma konwencjonalnym – zwanym inaczej karotażem gęstościowym, wykorzystuje się zjawisko Comptona (rozpraszanie kwantów gamma na powłokach elektronowych atomów) i mierzy się twardą składową rozproszonego promieniowania gamma, to karotaż selektywny rejestruje miękka składową rozproszonego promieniowania gamma, gdzie dominującą rolę odgrywa fotoefekt (zjawisko fotoelektrycznego pochłaniania kwantów gamma przez atomy materii).

Karotaż selektywny jest metodą niedawno powstałą (1955 r.). Już na obecnym etapie opracowywania tej metody istnieją możliwości pozwalające na jakościowe i ilościowe określanie obecności takich pierwiastków, jak: żelazo, bar, wolfram, rtęć, ołów, antymon i inne z profilów otworów wiertniczych. Metoda ta pozwala zastąpić kosztowne i przestarzałe konwencjonalne metody opróbowania złóż niektórych pierwiastków.

Stosując źródło miękkiego promieniowania oraz odpowiedni układ pomiarowy istnieje możliwość rejestrowania małych domieszek pierwiastków chemicznych o wysokiej liczbie atomowej, występujących w skałach z dokładnością, umożliwiającą późniejszą interpretację ilościową. Przez określenie „twarda składowa rozproszonego promieniowania gamma” rozumiany jest zakres energii kwantów gamma od 0,19 – 9,0 MeV, a przez określenie „miękka składowa rozproszonego promieniowania gamma” – zakres energii kwantów gamma od 0,03 – 0,19 MeV. Intensywność promieniowania gamma w zakresie energetycznym powyżej 0,19 MeV jest jednoznacznie związana z gęstością skał.

Z empirycznego wzoru na liniowy współczynnik pochłaniania fotoelektrycznego (T)

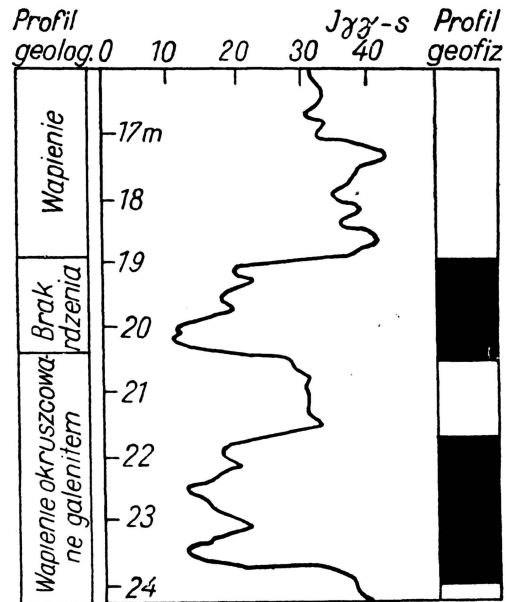
$$T = 0,0089 \delta \left(\frac{Z_{ef}^{4,1}}{A_{ef}} \right) \cdot \lambda^n \dots (I)$$

gdzie: λ – długość fali w Å,
 n – zmienia się od 1–3 dla różnych energii,
 δ – gęstość materii w g/cm³,

wynika, że rola zjawiska fotoelektrycznego w osłabieniu strumienia pierwotnych promieni gamma, tj. emitowanych przez źródło promieniowania gamma, rośnie ze zmniejszeniem energii kwantów gamma i bardzo się zwiększa ze zwiększeniem efektywnej liczby atomowej pierwiastków. A zatem intensywność rozproszonego promieniowania gamma będzie zależeć zarówno od gęstości materii, jak i od podstawowej wielkości efektywnej liczby atomowej.

Ponieważ prawdopodobieństwo pochłaniania fotoelektrycznego jest w przybliżeniu proporcjonalnie do czwartej potęgi liczby atomowej, to już niewielkie domieszki elementów ciężkich o liczbie atomowej $Z \approx 80$ prowadzą do znacznego obniżenia intensywności rozproszonego promieniowania gamma, rejestro-

wanego w zakresie małych energii. Za pomocą karotażu selektywnego określa się metale o wysokiej liczbie atomowej już przy zawartości metalu w rudzie wynoszącej ok. 0,2%. Jako przykład zastosowania karotażu selektywnego może służyć ryc. 1.



Ryc. 1.

Fig. 1.

W interwałach 19 – 20,5 m i 22 – 24 m na diagramie karotażu selektywnego uchwycone zostały strefy okruszczenia o zawartości 1,7% ołowiu. Interwał 22 – 24 m w zasadzie zgadza się i pokrywa z profilem litologicznym, natomiast interwał 19 – 20,5 m stanowi uzupełnienie profilu litologicznego, gdyż strefa okruszczenia na tym odcinku nie została uchwycona wierceniem z powodu złego stanu rdzenia.

WYPOSAŻENIE DO KAROTAŻU SELEKTYWNEGO

Układ pomiarowy stosowany w metodzie karotażu selektywnego składa się ze źródła miękkiego promieniowania gamma przeznaczonego do naświetlania skał, licznika do rejestracji rozproszonego promieniowania gamma i ekranu ołowiowego, który zabezpiecza licznik przed bezpośrednim dojściem kwantów gamma wychodzących ze źródła. Obudowa sondy wykonana jest albo z aluminium ($Z = 13$), albo z mas plastycznych ($Z = 8$). W celu zwiększenia czułości sondy na miękkie promieniowanie gamma powinno się stosować liczniki o katodach wykonanych z metali ciężkich.

Jako źródła promieniowania gamma w karotażu selektywnym stosowane są izotopy promieniotwórcze emitujące kwanty gamma w miękkim zakresie energetycznym, takie, jak np. Cs¹³⁷, Hg²⁰³, Se⁷⁵. Jeżeli chodzi o aktywności stosowanych źródeł to, podobnie jak przy karotażu gęstościowym gamma-gamma, dobierane są one zależnie od długości sondy (przez długość sondy rozumiana jest odległość pomiędzy źródłem a licznikiem) i od intensywności naturalnego promieniowania skał. Odnosnie do długości sondy różni autorzy mają odmienne zdania, niemniej jednak ze względu na mały zasięg głębokościowy karotażu gamma-gamma jako optymalne długości należy uważać $l = 25-30$ cm.

W celu sprowadzenia do minimum oddziaływania kawern i promieniowania przychodzącego z płuczki (promienie otworowe) na wyniki pomiarowe, sonda usytuowana jest ekscentrycznie w otworze (przyciskana do ścianki otworu za pomocą sprężyny), a ponadto od strony otworu jest ekranowana przez ekrany ołowiane, przy czym grubości tych ekranów powinny być możliwie jak największe.

Poniżej zamieszczona została tabela zawierająca dane dla niektórych izotopów promieniotwórczych, energetycznie odpowiadających warunkom zastosowania w karotażu selektywnym.

Symbol chemiczny izotopu oraz jego liczba atomowa	Energia (Me V)	Okres T 1/2 półrozpadu
Sn ¹¹³	0,401; 0,393; 0,255	118 dni
Hg ²⁰³	0,28	47,9 dni
Te ¹²³	0,159; 0,089	121 dni
Nb ⁹¹	0,104	60 dni
Sn ¹¹⁹	0,065; 0,024	225 dni
Cs ¹³⁷	0,662	33 lat
Se ⁷⁵	0,26	127 dni

Należy dodać, że podstawową energią kwantów gamma dla danego źródła stosowanego w karotażu selektywnym są jego twarde składowe promieniowania; składowe bardziej miękkie zwykle mało wpływają na wyniki pomiarowe, co jest spowodowane tym, iż składowe te są silnie pochłaniane.

Liczne doświadczenia wykazały, że do badań za pomocą karotażu selektywnego można adaptować konwencjonalne aparaty do karotażu gamma z wprowadzeniem pewnych poprawek. Można stosować zarówno aparaty typu KRT, jak również typu RARK i SRP-2.

Prócz aparatów wyżej wymienionych do badań karotażem selektywnym stosowane są również aparaty spektrometryczne wyposażone w liczniki scyntylacyjne. Zaletą stosowania liczników scyntylacyjnych w aparaturach spektrometrycznych polega na tym, że posiadają one możliwości rozdzielania rozproszonych kwantów gamma według ich energii. Obecnie najczęściej używana jest aparatura spektrometryczna jednokanałowa oraz aparatura dwukanałowa. Układ pomiarowy jednokanałowego analizatora amplitudowego WIRG składa się z sondy o średnicy zewnętrznej równej 60 mm i długości 2 m oraz części aparaturowej naziemnej. Jako detektor promieniowania stosowany jest licznik scyntylacyjny, składający się z kryształu NaJ (Tl) i fotopowielacza spektrometrycznego typu FEU-16 lub FEU-35. Układ pomiarowy dwukanałowego analizatora scyntylacyjnego pozwala rejestrować jednocześnie w sposób ciągły intensywność rozproszonego promieniowania gamma na dwóch dowolnych odcinkach widma oraz pozwala mierzyć punktowo skład widma rozproszonego promieniowania gamma powyżej energii 0,03 MeV. W skład sondy wchodzi źródło promieniowania gamma, np. Cs¹³⁷, ekran ołowiany, detektor promieniowania gamma (kryształ NaJ (Tl), fotopowielacz typu FEU-16 oraz źródło wysokiego napięcia do zasilania fotopowielacza. Podział i formowanie impulsów odbywa się w sondzie według ich energii. Do aparaty znajdującej się na powierzchni przesyłane są różnobięgunowe prostopadłe impulsy, przy czym

biegunowość odpowiada wybranym pasmom energii. Cała ta operacja trwa około 50 μ sec.

METODYKA BADAŃ

Jak już wspomniano poprzednio najefektywniejszą i najczęściej obecnie stosowaną aparaturą jest urządzenie spektrometryczne. Prowadząc prace tą aparaturą można określić zarówno liczbę atomową danego pierwiastka, jak również jego zawartość w skale. Najlepsze wyniki przy zastosowaniu karotażu selektywnego można uzyskać badając impregnacyjne okruszczenia pierwiastków chemicznych, przede wszystkim pierwiastków o dużych liczbach atomowych. Badania można przeprowadzać zarówno na złożach pierwotnych, jak i rozsypanych. Za pomocą aparatury spektrometrycznej wykrywa się obecność pierwiastków ciężkich niezależnie od asocjacji, w jakich mogą one występować. Metoda ta jest bardzo efektywna przy badaniach np. utlenionych złóż ołowiu, gdzie zastosowanie innych metod nie daje zadawalających wyników. Karotaż selektywny jest najefektywniejszy przy badaniach małych zawartości pierwiastków ciężkich w skale. Gdy w skale koncentracja pierwiastków chemicznych ciężkich zwiększa się, to wraz ze wzrostem współczynnika pochłaniania fotoelektrycznego T wzrasta gęstość środowiska.

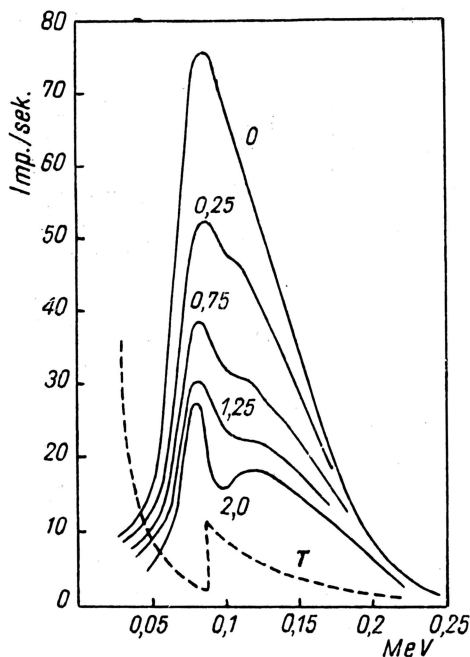
Ze względu na to, że zwiększenie gęstości prowadzi do zmniejszenia intensywności rozproszonego promieniowania gamma, zalecane jest, aby metodę tę stosować tylko w przypadku niewielkich domieszek ciężkich pierwiastków w skale. Jeżeli np. zawartość metalu w rudzie jest mała i nie przekracza 5-6%, wówczas może ona być wyznaczona z amplitudy anomalii zarejestrowanej na diagramie karotażu selektywnego. Amplituda anomalii jest mierzona od poziomu rozproszonego promieniowania skał otaczających — bezkruszcowych, posiadających taki sam skład jak skały zawierające kruszec. Przy większych koncentracjach metalu w rudzie intensywność rozproszonego promieniowania gamma w strefach okruszczoń jest za mała, aby można ją zarejestrować w sposób pewny. W związku z tym zależność między amplitudą anomalii i zawartością metalu w rudzie zostaje naruszona.

Najdokładniejsze informacje o obecności i składzie okruszczenia można uzyskać tylko przez badanie widma rozproszonego promieniowania gamma. Skład widma rozproszonego promieniowania gamma zależy przede wszystkim od składu chemicznego skał z czym związany jest współczynnik pochłaniania fotoelektrycznego, a tylko w minimalnym stopniu zależy od gęstości.

Na podstawie wyników prac modelowych zostało stwierdzone, że np. zmiana gęstości skał o 0,1 g/cm³ powoduje zmianę intensywności rozproszonego promieniowania gamma w paśmie energetycznym 0,03 — 0,19 MeV o 7%, a o 6% przy energii powyżej 0,2 MeV. W miękkim zakresie energetycznym widmowy charakter krzywych praktycznie nie zmienia się przy zmianach w gęstości od 1 g/cm³ (woda) do 4 g/cm³ (piryt). O wiele bardziej skład spektralny zależy od współczynnika pochłaniania fotoelektrycznego T , będącego bezpośrednio związanym z rzeczywistym składem rud oraz skał i odgrywającym pierwszorzędą rolę przede wszystkim w zakresie małych energii.

Obecność niewielkich domieszek pierwiastków ciężkich powoduje pojawienie się wyrwy na krzywej widmowej rozproszonego promieniowania gamma na niewielkim pasie energetycznym, dla której współczynnik pochłaniania fotoelektrycznego osiąga wartość maksymalną. Np. dla ołowiu pas ten występuje w zakresie energetycznym 0,09 — 0,12 MeV, dla wolframu 0,07 — 0,09 MeV, uranu 0,115 — 0,135 MeV.

Z ryc. 2 (widmo rozproszonego promieniowania gamma uzyskane przy użyciu źródła promieniowania gamma — Hg²⁰³, długości sondy $l = 20$ cm; dla piasku o różnych koncentracjach ołowiu; liczby na krzywych oznaczają procentową zawartość ołowiu w piasku; wykres T charakteryzuje zmianę współczynnika pochłaniania fotoelektrycznego od energii promieniowania) wynika (9), że wyrwa w widmie rozproszonego promieniowa-



Ryc. 2.

Fig. 2.

nia gamma odpowiada skokowi K pochłaniania, występującego przy energii kwantów gamma równej energii wiązania elektronu na powłoce K atomu. Np. dla ołowiu zerwanie ciągłości T , które jest związane ze skokiem K odpowiada energii $E = 0,0882$ MeV. Ponieważ energia ta związana jest w sposób jednoznaczny z liczbą atomową pierwiastka, to przy równomiernej dystrybucji okruszczenia z pomiarów spektralnych można jednoznacznie określić liczbę atomową pierwiastka wywołującego anomalie; wyjątek stanowi tu przypadek, gdy spotykane są pierwiastki chemiczne o zbliżonej liczbie atomowej. Jeżeli dystrybucja okruszczenia jest nierównomierna, wówczas w widmie rozproszonego promieniowania gamma nie występuje wyrwa. W tym przypadku uchwycenie tej wyrwy jest możliwe przy kolimacji wiązki rozproszonych kwantów gamma. Jak to wynika z krzywych przedstawionych na ryc.2, obecność różnej procentowo domieszki ołowiu w piasku powoduje odpowiednią zmianę wyglądu poszczególnych charakterystyk widmowych.

W ciągu ostatnich kilku lat karotaż selektywny stosowano najczęściej na złożach polimetalicznych, a w mniejszym zakresie na złożach rtęci, antymonu i żelaza (syderytu).

Pod kątem warunków zastosowania karotażu selektywnego na złożach metali ciężkich według Woskobojnikowa, Bałaszewa i Gławniewa (13) można podzielić je w sposób umowny na: a) złoża impregnacyjne, b) złoża żyłowo-metasomatyczne. Jako złoża impregnacyjne określone są wszystkie złoża niezależnie od ich genezy, w których strefy okruszczenia charakteryzują się „wpryskami” kruszcu w skałę, nie odbiegającej składem od skał otaczających. Skałami otaczającymi w takich złożach są zwykle kwaśne skały magmowe, metamorficzne lub osadowe. Jeżeli chodzi o skały osadowe, to najczęściej bywają to wapienie. Wymienione skały pod względem ich oddziaływania na promienie gamma niewiele odbiegają jedna od drugiej (z tego względu, iż zawierają pierwiastki o liczbie atomowej $Z \approx 60 - 20$). Pierwiastki chemiczne w tych skałach występują w takich proporcjach, że ich równoważne liczby atomowe, charakteryzujące proces rozpraszania promieni gamma, są do siebie zbliżone.

Przy prowadzeniu prac karotażowych można nie brać pod uwagę takich zmian wtórnych, jak: sylifikacja, serycytyzacja i inne, które mogą występować w strefach kruszczowych ze względu na to, że nie zmieniają one właściwości oddziaływania skał z pierwotnym promieniowaniem gamma. Wyjątek stanowi tu barytyzacja. Bar jako pierwiastek o dość wysokiej liczbie atomowej ($Z = 56$) powoduje pojawienie się

anomalii na diagramie karotażu selektywnego; anomalia ta niewiele się różni intensywnością rozproszonego promieniowania gamma od anomalii wywołanych przez okruszczenie.

Jeśli chodzi o złoża żyłowo-metasomatyczne, to okruszczenie metali ciężkich wiąże się tu ze strefami metasomatycznymi lub mocno zmineralizowanymi żyłami, posiadającymi inne właściwości fizyczne niż skały otaczające. Żyły kruszczone oraz skarny piroksenowe, granatowe lub inne, wiążące się z okruszczeniem zawierają z reguły duże ilości żelaza (do ok. 25%). Domieszka takich ilości żelaza w rudzie powoduje zwiększenie się gęstości i równoważnej liczby atomowej rudy.

W związku z tym, że na diagramach karotażu selektywnego żyły lub strefy metasomatyczne zaznaczają się przeważnie niezależnie od tego, czy zawierają one kruszec czy też nie, metodyka badań na tego typu złożach jest inna niż na złożach impregnacyjnych. Obecność kruszcu powoduje tu tylko pewne zwiększenie anomalii na diagramie karotażowym. Aby rozdzielić w tym przypadku anomalie na rudną i bezrudną, niekiedy wykorzystuje się karotaż gęstościowy gamma-gamma, który na tego typu złożach wykonywany jest kompleksowo z karotażem selektywnym. Nie mniej jednak zmienność żył i stref metasomatycznych oraz niejednoznaczna zależność między gęstościami tych utworów a zawartością w nich żelaza bardzo utrudnia wydzielenie tzw. normalnego poziomu promieniowania dla niekruszczonego żył i stref metasomatycznych; od tego poziomu odczytywane są wartości amplitud anomalii rudnych. W związku z tym często mają miejsce trudności nie tylko przy ilościowym wyznaczaniu zawartości metalu ze składowej rudnej, lecz nawet przy jakościowym rozdzielaniu anomalii na rudną i nierudną.

Przy programowaniu prac karotażowych i analizie wyników zalecane jest posługiwanie się następującym podziałem, wyróżniającym pierwiastki według ich liczby atomowej:

- a) pierwiastki o dużych liczbach atomowych $Z \approx 80$, jak: bizmut, ołów, rtęć i wolfram;
- b) pierwiastki o średnich liczbach atomowych $Z \approx 50$, jak: bar, antymon, cyna;
- c) pierwiastki o stosunkowo małych liczbach atomowych, jak: żelazo, mangan, chrom, cynk i inne.

Metale o wysokiej liczbie atomowej posiadają duży współczynnik pochłaniania fotoelektrycznego i w związku z tym zaznaczają się na diagramach karotażowych już przy najniższych ich zawartościach w rudzie ($\approx 0,2\%$). Koncentracje metali pozostałych grup są według wielkości wywołanych przez nie anomalii równoważne koncentracji pierwszej grupy, rosnąc wraz ze zmniejszaniem się liczby atomowej.

Posiadane wyniki eksperymentalne wykazały, że stosunek równoważnych zawartości metalu dla trzech rozpatrywanych grup wynosi w przybliżeniu 1:2:12. Ze względu na to, że stosunek ten wyznaczono na podstawie niekompletnych danych wymaga on udokładnienia, zwłaszcza dla grupy b. Według przybliżonych obliczeń teoretycznych bez uwzględnienia zmiany gęstości dla dużych koncentracji metalu w rudzie stosunek ten wynosi 1:1,4:11. Dane karotażowe, uzyskane na impregnacyjnych złożach metali dla dwóch pierwszych grup, mogą być porównywane między sobą bez żadnych ograniczeń, jeżeli zostanie przyjęte założenie, że zawartości różnych pierwiastków ciężkich będą wyrażane w równoważnikach jednego z nich.

Jeśli chodzi o rudy żelaza, manganu i chromu, to stanowią one oddzielną grupę. Intensywność rozproszonego promieniowania zależy tu w większości przypadków nie tylko od zwiększonej równoważnej liczby atomowej, lecz również od zwiększonej gęstości rudy. Tego rodzaju kruszce można badać tak za pomocą karotażu gęstościowego gamma-gamma, jak również karotażu selektywnego; ten ostatni z powodu możliwości uzyskania „ostrego” i zróżnicowanego zapisu anomalii jest bardziej wygodny. W przypadku żelaza, w celu uzyskania danych wyjściowych do interpreta-

cji ilościowej należy rejestrować miękką i twardą składową rozproszonego promieniowania gamma. Uwzględniając karotaż gęstościowy można wprowadzić odpowiednie poprawki na gęstość do danych pomiarowych karotażu selektywnego.

Przy zawartościach metalu w rudzie przekraczających 10%, strefy kruszonośne na diagramach karotażu selektywnego zaznaczają się w sposób bardzo wyraźny.

Pod kątem warunków i metodyki zastosowania karotażu selektywnego można również zastosować inny sposób podziału złóż.

Rodzaj pierwszy: złoża zawierające jeden pierwiastek o dużej liczbie atomowej, przy czym skały otaczające są jednorodnie pod względem składu i gęstości.

a) pierwiastek ciężki jest jedynym składnikiem użytecznym (niektóre złoża rtęci, antymonu, baru, żelaza),
b) prócz pierwiastka użytecznego w rudzie występują również składniki użyteczne towarzyszące, lecz w ilościach tak małych, iż ich obecność praktycznie nie wpływa na efekt anomalny metody (wiele złóż polimetalicznych).

Rodzaj drugi: złoża zawierające jeden pierwiastek o dużej liczbie atomowej oraz zmieniającej się w dużym przedziale gęstości skał otaczających (wywołującej anomalie fałszywe).

a) pierwiastek ciężki jest jedynym składnikiem użytecznym,

b) prócz pierwiastka użytecznego w rudzie występują również składniki użyteczne towarzyszące w ilościach bardzo małych.

Do tego rodzaju złóż zaliczana jest większość złóż skarnowych oraz takich, w których strefy o podwyższonej gęstości reprezentują nagromadzenia minerałów o dość dużym ciężarze właściwym (magnetyt, piryty i in.).

Rodzaj trzeci: złoża zawierające dwa lub więcej pierwiastki o dużej liczbie atomowej (złoża ołowiu-barytowe, antymonowo-rtęciowe itp.). Na złożach tego typu oddzielne określenie zawartości pierwiastków w wysokiej liczbie atomowej jest możliwe tylko przy dostatecznie dużej różnicy ich liczby atomowej, przy czym dla tego celu niezbędne jest zastosowanie bardzo precyzyjnych i skomplikowanych aparatów spektrometrycznych nieprodukowanych obecnie seryjnie.

BŁĘDY WPŁYWAJĄCE NA JAKOŚĆ MATERIAŁÓW POMIAROWYCH

Na błędy związane z karotażem selektywnym składają się:

- 1) błędy związane ze zmianą średnicy otworu i promieniami otworowymi,
- 2) błędy związane ze zmianą składu środowiska otaczającego,
- 3) błędy związane ze zmianą gęstości w skale otaczającej, spowodowane różną koncentracją kruszcu,
- 4) błędy związane z gęstością,
- 5) błędy związane z amplitudą anomalii.

Błędy związane z promieniami otworowymi można sprowadzić do minimum przez zaakranowanie licznika ołowiem od strony odwiertu. Stosując decentralizator można sprowadzić do minimum błędy spowodowane zmianę średnicy otworu; w tym przypadku pewien błąd zostanie spowodowany wskutek obecności w otworze drobnych kawern. Błędy spowodowane przez kawerny charakteryzują się na diagramie karotażu selektywnego tym, że tworzą anomalie o przeciwnym znaku w porównaniu z anomaliami rudnymi.

Efektu zmiany składu środowiska otaczającego w zasadzie nie można wydzielić z anomalii karotażowej. W przypadku konkretnego złoża odpowiednia ocena tego efektu powinna zdecydować, czy zastosowanie karotażu selektywnego jest celowe. Dotyczy to zwłaszcza złóż żyłowo-metasomatycznych. W przypadku zaistnienia błędów związanych ze zmianą gęstości w skale otaczającej, które wynikły w związku z różną koncentracją kruszcu, wówczas wraz z karotażem selektywnym należy również wykonać karotaż gęstościowy gamma-gamma albo przeprowadzić karotaż selektywny, kompensując twardą składową rozproszonego

promieniowania gamma. Poprzez odpowiednie udoskonalenie aparatury i metodyki obserwacji błąd w określaniu amplitudy anomalii może zostać poważnie zmniejszony.

Błędy wywołane przez gęstość wyeliminować można zastosowaniem sond o odpowiedniej długości. Optymalne są tu sondy małe, jednak nie można nimi osiągnąć maksymalnej czułości. Jeśli wpływ gęstości jest nieznaczny wówczas należy posługiwać się sondami dużymi, co ma na celu zwiększenie czułości metody.

Poważne błędy mogą zostać wniesione do wyników interpretacji przez obecność baru w skale. W tym przypadku z diagramu może zostać tylko określona sumaryczna miąższość strefy zawierającej szukany metal i bar, oraz sumaryczna zawartość tych pierwiastków w skale.

INTERPRETACJA MATERIAŁÓW KAROTĄŻU SELEKTYWNEGO (1, 5)

Podczas przechodzenia sondą dolnej granicy jednorodnej strefy kruszonośnej o małej zawartości kruszcu, idąc z pomiarem karotażu selektywnego od dołu otworu ku górze, intensywność rejestrowanego promieniowania gamma maleje dość znacznie od momentu wejścia do tej strefy części sondy, która odpowiada środkowi licznika. Gdy sonda całkowicie wejdzie w strefę kruszonośną intensywność rejestrowanego promieniowania gamma osiągnie praktycznie wartość stałą, będącą charakterystyczną dla danej zawartości kruszcu w skale. Proces odwrotny będzie zaobserwowany podczas przechodzenia górnej granicy strefy kruszonośnej.

Jeżeli punkt zapisu diagramu karotażowego będzie odnoszony do środka licznika, wówczas tak położenie, jak i miąższość strefy kruszonośnej w otworze, będą określane według ich położenia i rozciągłości na diagramie karotażowym, tj. od początku opadania do początku wzrostu intensywności rejestrowanego promieniowania gamma. Prócz tego z diagramu karotażowego wyznaczane jest I_0 — średnia „normalna” intensywność promieniowania gamma w pobliżu strefy kruszonośnej oraz I_a w przedziałach strefy kruszonośnej. Przez I_a została określona anomalna intensywność promieniowania gamma. Jeżeli strefa okruszczowania jest niejednorodna (o zawartości kruszcu, która np. będzie się zwiększała od granic ku środkowi strefy) wówczas jest ona rozbijana na szereg interwałów pośrednich o grubościach równych długości sondy. Wartość intensywności rozproszonego promieniowania gamma dla poszczególnych interwałów pośrednich uśrednia się; odpowiada to również uśrednieniu zawartości metalu w tych interwałach. Operacja ta odbywa się w ten sposób, że jako wartości I_a dla pośrednich interwałów przyjęte zostają wartości promieniowania gamma odczytane na końcu każdego interwału.

Do wyznaczonych z diagramu karotażowego wartości intensywności rozproszonego promieniowania gamma wnosi się poprawkę, uwzględniającą błędy powstałe przy zliczaniu impulsów. Poprawka ta wyznaczana jest według danych cechowania aparatury, które odbywa się w podobny sposób jak przy karotażu gamma.

Zależność między intensywnością rozproszonego promieniowania gamma, a zawartością metalu w rudzie można znaleźć za pomocą następującego wzoru:

$$I = \frac{m}{l} \cdot e^{-\rho l} \dots \dots \dots (II)$$

- gdzie: I — intensywność promieniowania gamma w impulsach,
 l — długość sondy,
 ρ — gęstość skały,
 q — masowy dyfuzyjny współczynnik osłabiania,
 m — mnożnik,

Przy zmianach składu i gęstości skały podstawowym czynnikiem wpływającym na zmianę intensywności rozproszonego promieniowania gamma, są wahania

w wielkości wskaźnika wykładnikowego. Jeżeli zawartości pierwiastka ciężkiego są niewielkie, to przy stałej długości sondy l mnożnik ten można przedstawić w postaci liniowej funkcji zawartości. Oznaczając parametry doświadczalnie można zaniedbać inne formy zależności I od Q (zawartość metalu w rudzie) przy czym dokładność praktycznie nie zwiększy się.

Uwzględniając te uwagi z równania (II) znajdujemy, że

$$\lg I_a = \lg I_0 - kQ \dots \dots \dots (III)$$

Jeżeli jako amplitudę anomalii będziemy uważać wielkość $A = I_a$, to z równania (II) otrzymamy

$$\lg A = kQ \dots \dots \dots (IV)$$

gdzie k — stały współczynnik.

Współczynnik k wyznacza się na podstawie zestawienia danych geofizycznych i geologicznych i ich statystyczne opracowanie dla ogółu złóż tego samego typu pod kątem zastosowania karotażu selektywnego wykonywanego za pomocą aparatury jednego typu oraz sondy o stałych parametrach.

Wykonując ilościową interpretację z diagramu karotazowego wyznacza się $A = \frac{I_0}{I_a}$ Na tej podstawie

zostaje wykonany wykres w układzie współrzędnych o odciętych $\lg A$ i rzędnych h (głębokość). Wykres wartości $\lg A$ można rozpatrywać jako wykres zawartości badanego pierwiastka chemicznego, wyrażonej w umownych jednostkach. W celu otrzymania zawartości badanego pierwiastka chemicznego w skale Q w procentach, należy wykorzystać wzór (IV).

Jeżeli chcemy określić średnią zawartość badanego metalu w skale Q dla całego interwału kruszonośnego, wówczas należy wyznaczyć średnią wartość logarytmu anomalii $\lg A$ według następującego wzoru:

$$\overline{\lg A} = \frac{\sum h_i \lg A_i}{\sum h_i} \dots \dots \dots (V)$$

gdzie: h_i — miąższość elementarnych interwałów, dla których wyznaczono intensywność promieniowania gamma,

$\lg A$ — wartość logarytmu amplitudy anomalii w odpowiednich interwałach.

Średni błąd, który może być spodziewany przy oznaczaniu zawartości Q według danych karotazowych można określić z równania:

$$\delta Q = \frac{\mu}{k}$$

gdzie μ — średni kwadratowy błąd logarytmu amplitudy. Równanie to zostało otrzymane w wyniku podstawienia do równania (IV) wartości $\mu^{(1)}$ zamiast $\lg A$, a zamiast Q wartości δQ (spodziewany błąd przy określaniu zawartości metalu w skale). Przy przyjętych założeniach wyjściowych błąd δQ nie zależy od wielkości Q w tych przedziałach, w których zachowana jest liniowa zależność (IV) między logarytmem amplitudy a zawartością metalu w rudzie. Taka zależność może istnieć tylko przy koncentracji metalu w rudzie, która nie przekracza 5—6%.

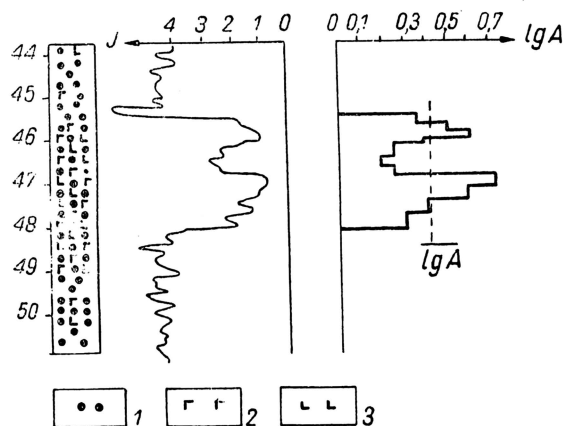
Jako przykład opracowania diagramu karotażu selektywnego może służyć ryc. 3.

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}},$$

gdzie n — ogólna ilość interwałów,

v_i — ostateczny błąd zestawienia jednostkowego,

$$v_i = \lg A_i - kQ_i.$$



Ryc. 3.
1 — konglomerat, 2 — wpryski galenitu, 3 — wpryski sfalerytu.

Fig. 3.
1 — conglomerate, 2 — galenite inclusions, 3 — sphalerite inclusions.

LITERATURA

1. Bljumienцев A. M., Feldman I. I. — Woprosy koliczestwiennoj ocienki sodierzaniya zeleza w rudach po danym radioaktywnogo karotaza. Razw. i prom. geof. Wyp. 46, 1962.
2. Broda E., Schönfeld T. — Zastosowanie promieniotwórczości w technice. PWN. Warszawa 1959.
3. Caldwell R. L., Sippel R. F. — Nowoje w radioaktywnych metodach issledowanija skwazin. Biull. A.A.P.G. vol. 42, nr 1, 1958. Prom. geof. 1960, nr 2.
4. Garkalenko I. A., Holin W. N. — O wozmożnosti primienienija radioaktywnych metodow karotaza pri issledowanii skwazin Biełozerskogo Żeleznorudnogo miestorożdienija. Razw. i prom. geof. Wyp. 41, 1961.
5. Mejer W. A. — Karotaz skwazin pri razwiedkie polimetalicznych miestorożdienij. Izd. Leningr. Uniwer. 1960.
6. Oczkur A. P. i in. — O wozmożnosti opriedielenija prirody anomalij selektywnogo karotaza (Sk.). Woprosy geof. Wyp. 13. Izd. Leningr. Uniwer. 1962.
7. Roman L. — Profilowanie gęstościowe. Prz. geol. 1964, nr 9.
8. Schneiderhöhn H. — Złóża rud. Wyd. Geol. Warszawa 1962.
9. Sokołow M. M. i in. — Fotoelektriczieskije pogłoszczenije rassiejannogo gamma izluczenija. Atomnaja energia, t. 4, wyp. 3, 1958.
10. Sokołow M. M. i in. — K intierpretacii diagramselektywnogo karotaza. Woprosy razwiedocznoj radiometrii. Inf. zb. nr 1 L., 1959.
11. Sokołow M. M. i in. — Primienienije metodow rassiejannych gamma i beta izluczenij dla reszenija niekotorych gieologiczieskich zadacz. Jadiernaja Gieofizyka, 1962.
12. Woskobożnikow G. M. — Tieoreticzieskije osnovy sielektywnogo gamma-gamma karotaza. Izw. AN SSSR, sier. geof. nr 3, 1957.
13. Woskobożnikow G. M., Bałaszew W. N., Gławniew P. A. — K woprosu w koliczestwiennych opriedielenijach sodierzaniya tjażołych mietallow w rudie po danym selektywnogo karotaza. Geofiziczieskij sbornik AN SSSR nr 3, Swierdłowski 1962.

SUMMARY

The gamma-gamma logging of soft radiations is a variety of the common gamma-gamma logging. The measurement of a phenomenon consists in using the existing relationship between photoelectric observation of multiply spread gamma quanta and atomic number Z of the atoms in the environment. As radiation sources are used isotopes emitting gamma rays of low energy.

The author gives theoretical and interpretative bases to prospect and to determine the grade of heavy metal ore deposits. In addition, factors influencing quantitative interpretation are discussed, as well.

РЕЗЮМЕ

Селективный гамма-гамма каротаж является разновидностью гамма-гамма каротажа. Его сущность состоит в том, что в измерениях используется зависимость между фотоэлектрической абсорбцией многократно испускаемых квантов гамма и атомным числом Z атомов среды материи. В качестве источника излучения применяются изотопы, излучающие гамма-частицы низкой энергии.

Автор описывает теоретические и интерпретационные основы метода в отношении его использования при поисках и определении процентного содержания металлов в руде. Рассматриваются также факторы, влияющие на количественную интерпретацию.