MARIA STĘPNIEWSKA
Instytut Geologiczny

WYKRYWANIE STREF Z MINERALIZACJĄ KRUSZCOWĄ METODĄ PROFILOWANIA PW W UTWORACH STAROPALEOZOICZNYCH MONOKLINY ŚLĄSKO-KRAKOWSKIEJ

UKD 550.832.77:553.3/,4.061.1:549.3]:552.08:54:550.822.2/.3(438-13)

Stwierdzenie interesujących objawów mineralizacji polimetalicznej w utworach staropaleozoicznych NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego spowodowało ostatnio nasilenie prac wiertniczych w tym rejonie. Dotychczas najwięcej otworów odwiercono na NW od Zawiercia: w rejonie Mrzygłodu i Myszkowa oraz na N od Ogrodzieńca. Utwory staropaleozoiczne tu nawiercone reprezentowane są przez kompleks łupków metamorficznych poprzerywany intruzjami skał magmowych, głównie porfirów i diabazów. Objawy mineralizacji polimetalicznej obserwowane są zarówno w utworach łupkowych, jak i skałach intruzywnych.

W utworach łupkowych wyróżnić można 3 zespo-

WAŻNIEJSZE MINERAŁY O PRZEWODNICTWIE ELEKTRONOWYM

Minerał	Wzór chemiczny	Minerał	Wzór chemiczny
arsenopiryt	$FeAsS$	magnetyt	Fe_3O_4
bornit	Cu_4FeS_4	markasyt	FeS_2
		miedź rodzima	Cu
chalkopiryt	$CuFeS_2$	molibdenit	MoS_2
chalkozyn	Cu_2S	nikielin	$NiAs$
enargit	Cu_3AsS_4	pentlandyt	$(FeNi)_9S_8$
galena	PbS	piryt	FeS_2
grafit	C	piroluzyt	MnO_2
ilmenit	$FeTiO_3$	pirrotyn	FeS
kobaltyn	$CoAsS$	tenantyt	$Cu_2As_4\ S_{13}$
kowelin	CuS	tetraedryt	$Cu_{12}S_4\ S_{13}$
Minerały, których pewne odmiany posiadają przewodnictwo elektronowe*			
antymonit	Sb_2S_3	kasyteryt	SnO_2
braunit	Mn_2O_3	manganit	$MnO(OH)$
burnonit	$PhCuSbS_3$	sfaleryt	ZnS
bizmutyn	Bi_2S_3	franklinit	$(Zn, Mn)\ Fe_2O_4$

* Przewodnictwo elektronowe tych minerałów przeważnie jest uwarunkowane domieszkami mikroskopijnych wtrąceń minerałów o przewodnictwie elektronowym.

ły paragenetyczne (2) o charakterystycznym zestawie minerałów kruszcowych: 1) piryt, magnetyt, tlenki tytanu, 2) molibdenit, 3) piryt, chalkopiryt, sfaleryt, galena, aikinit.

W skałach intruzywnych kruszce występują w jednym zespole paragenetycznym, pirytowo-chalkopirytowo-molibdenowym ze sfalerytem, galeną, aikinitem i bornitem.

Przestrzenne rozmieszczenie minerałów kruszcowych przyjmuje różne formy i tak w łupkach obserwujemy następujące formy teksturowe:

I — syngenetyczne, warstwowe, laminowane, smugowe i rozproszone skupienia pirytu, magnetytu, ilmenitu, sfalerytu i tlenków tytanu.

II — epigenetyczne, utworzone głównie przez wypełnienie wolnych przestrzeni w skale, żyłki o grubości do kilku milimetrów i gniazda siarczków miedzi, pirytu, molibdenitu, sfalerytu, galeny oraz aikinitu.

III — tekstury powstałe w procesie rozpadu roztworów, ujawniające się jako inkluzje chalkopirytu i pirytu w sfalerycie.

W skałach magmowych minerały kruszcowe tworzą sieć drobnych żyłek oraz impregnacje. Te ogólne uwagi dotyczące charakteru mineralizacji polimetalicznej w utworach staropaleozoicznych monokliny śląsko-krakowskiej narzucają pewne wnioski, dotyczące stosowania w rozpoznaniu tych złóż pomiarów otworowych metodą profilowania potencjałów polaryzacji wzbudzonej PW:

— większość występujących na omawianym obszarze minerałów kruszcowych charakteryzuje się przewodnictwem elektronowym, co preferuje stosowanie metody PW do wykrywania stref o podwyższonej mineralizacji;

— różnorodność zestawu mineralnego oraz tekstur rudnych powoduje ograniczenia w stosowaniu tej metody, które zostaną omówione w dalszej części.

WYBRANE ZAGADNIENIA Z TEORII POTENCJAŁÓW POLARYZACJI WZBUDZONEJ

Skały pod wpływem przechodzącego przez nie prądu elektronicznego polaryzują się. W wyniku tej polaryzacji, po wyłączeniu prądu zasilającego, obserwujemy wtórne potencjały nazywane potencjałami polaryzacji wzbudzonej — PW. Powodem powstania polaryzacji wzbudzonej są procesy elektrochemiczne, zachodzące przy przejściu prądu elektrycznego przez skałę, a właściwie przez roztwory (wodę złożową) w niej zawarte, oraz przez minerały charakteryzujące się przewodnictwem elektronowym. Do tych ostatnich należy większość siarczków i tlenków metali. Spis ważniejszych minerałów o przewodnictwie elektronowym zaczerpnięty z pracy Komarowa (4) podano w tabeli.

Ryc. 1. Profilowanie potencjałów polaryzacji wzbudzonej w otworze A-5 bis.

a — strefy o podwyższonej mineralizacji kruszczowej wyznaczone na podstawie analizy chemicznej rdzenia, b — strefy zmineralizowane na podstawie profilowania PW.

Fig. 1. Induced polarity potentials logging in the drilling A-5 bis.

a — zone of increased ore mineralization traced on the basis of chemical analyses of cores, b — mineralized zones detected by the logging.

Ryc. 2. Profilowanie potencjałów polaryzacji wzbudzonej w otworze PZ-9. Objaśnienia jak przy ryc. 1.

Fig. 2. Induced polarity potentials logging in the drilling PZ-9. Explanations as in Fig. 1.

Ryc. 3. Jedna ze stref okruszcowanych w otworze PZ-9.

A — siarczki obserwowane w rdzeniu, B — strefy okruszcowane wyznaczone na podstawie PW, a — sumaryczna zawartość Pb, Cu, Mo, b — zawartość Zn.

Fig. 3. One of mineralized zones from the borehole PZ-9.

A — sulfides noted in core, B — mineralized zones detected by the logging, a — summative content of Pb, Cu and Mo, b — content of Zn.

Ryc. 4. Histogram wykrywalności stref o podwyższonej mineralizacji kruszcowej w utworach staropaleozoicznych monokliny śląsko-krakowskiej.

1 — strefy okruszcowane na podstawie analizy rdzenia, 2 — strefy okruszcowane potwierdzone przez profilowanie PW.

Fig. 4. Histogramme of traceability of zones of increased ore mineralization in Older Paleozoic rocks of the Silesian-Cracow region.

1 — zones traced by core analyses, 2 — zones of mineralization, confirmed by induced polarity potentials logging.

Polaryzacja wzbudzona nie powstaje w samym roztworze oddzielonym od skały, ani też oddzielnie wziętym przewodniku elektronowym, lecz w niejednorodnym ośrodku, złożonym ze szkieletu skalnego, elektrolitu — wody złożowej i minerałów o przewodnictwie elektronowym. Jeżeli minerał o przewodnictwie elektronowym otoczony jest źle przewodzącą skałą zwięzłą lub też przylega do zamkniętych por nie ma warunków do powstania potencjału polaryzacji wzbudzonej. W. A. Komarow zwraca uwagę, że może to mieć miejsce przy występowaniu mikroskopijnym wtrąceń magnetytu mieszczących się wewnątrz minerałów skałotwórczych, a niekiedy również w przypadku siarczków syngenetycznych ze skałami otaczającymi.

Potencjały PW mierzy się przy stałym natężeniu prądu zasilającego. Wzbudzające pole elektryczne zmienia się przy tym zależnie od oporności skał, w których przeprowadza się badania. Dla wyeliminowania wpływu oporności skał na pomiar PW wyniki pomiaru przedstawia się jako stosunek wzbudzonej różnicy potencjałów UPW do różnicy potencjałów, mierzonej przy wyznaczaniu oporności skał, czyli do potencjału wzbudzającego UKS. Ponieważ w praktyce stosuje się różne prądy przy wzbudzeniu i rejestracji PW należy uwzględnić również natężenia tych prądów, dlatego posługujemy się zależnością:

$$\eta = \frac{UPW}{UKS} \cdot \frac{IKS}{IPW} \cdot 100\%$$

Wartość η nazywamy współczynnikiem polaryzowalności skał.

Badania prowadzone przez Komarowa i innych pozwoliły na ustalenie zależności między tą częścią współczynnika polaryzowalności η^*, która związana jest z obecnością minerałów o przewodnictwie elektronowym, a procentową zawartością tych minerałów w skale:

$$\eta^* = \frac{B \cdot Kr}{1 + BKr}$$

Kr — objętościowa zawartość wtrąceń minerałów o przewodnictwie elektronowym,

B — współczynnik zależny od składu, struktury i rozmiaru wtrąceń, a także od momentu pomiaru PW po wyłączeniu prądu.

Wielkość wtrąceń warunkuje powierzchnię kontaktu minerału z elektrolitem. Przy tej samej zawartości procentowej powierzchnia ta będzie większa w przypadku występowania większej ilości drobnych wpryśnięć, niż przy większych ziarnach, rozmieszczonych rzadziej w skale. Ma to duże znaczenie przy małych koncentracjach minerałów rudnych.

Doświadczenie wykonane przez Komarowa na mieszaninie piasku kwarcowego i kawałków żelaza przy $Kr_{Fe} = 0{,}7\%$ stwierdziło wzrost polaryzowalności ze zmniejszeniem rozmiarów wtrąceń. Stąd wniosek, że przy małych koncentracjach, jakie występują właśnie w omawianych tu utworach, skupienia drobnodyspersyjne są przyczyną większej polaryzowalności. Przy większych koncentracjach minerałów rudnych zależność ta jest odwrotna — polaryzowalność wzrasta ze zwiększeniem wielkości ziarn (4).

Z innych czynników wpływających na wielkość potencjałów PW warto wymienić wpływ wody złożowej, przy czym wzrost jej zasolenia powoduje zmniejszenie polaryzowalności. W skałach płonnych największe wartości PW obserwuje się w zwięzłych skałach węglanowych i piaskowcach oraz litych skałach magmowych, nie zawierających minerałów o przewodnictwie elektronowym. Niskie wartości PW wykazują iły nie zmienione procesami wtórnymi, zawodnione piaski, słabozwięzłe piaskowce oraz kawerniste skały węglanowe. Polaryzowalność wzbudzona wody równa jest 0.

POMIARY OTWOROWE PW I ICH INTERPRETACJA

Profilowanie potencjałów PW w rejonie Mrzygłodu, Myszkowa i na N od Ogrodzieńca wykonano w 20 otworach wiertniczych aparaturą typu AEKS-900 lub AKSŁ-64 z zastosowaniem sondy potencjałowej B 4.0 A 0.1 M. Rejestracje potencjałów wzbudzających UKS prowadzono przy stałych prądach o natężeniu $i = 3$ lub 10 mA. Potencjały wzbudzone PW rejestrowano przy dwu kierunkach prądu wzbudzającego otrzymując dwie krzywe PPW^+ i PPW^-. Zależnie od biegunowości pomiaru naprzeciw stref o podwyższonej mineralizacji kruszcowej otrzymywano anomalie dodatnie bądź ujemne.

Rejestrowane w warunkach otworowych potencjały PW są „skażone" przez nakładanie się na nie potencjałów samoistnych PS. Wpływ PS częściowo eliminowano przez dobór odpowiednio wysokiego natężenia prądu przy rejestracji PW (przeważnie 50 mA), tak aby powstała różnica potencjałów PW była niewspółmiernie większa od wielkości potencjałów samoistnych PS. Jeżeli pomimo to występował pewien wpływ potencjałów PS na PW, to eliminowano go przez uśrednienie krzywych PPW^+ i PPW^-.

Strefy okruszcowane wyznaczane były metodą nakładek, tj. przez nałożenie uśrednionej krzywej PPW na UKS, przy zachowaniu pokrycia obu krzywych wzdłuż linii iłów. W omawianym rejonie przyjęcie odpowiedniej linii iłów było trudne, ponieważ występujące tu łupki metamorficzne nie mogą spełniać tej roli. W tej sytuacji starano się tak nakładać obie krzywe, aby uzyskać pokrycie w warstwach silnie skawernowanych.

Na wykresach nałożonych krzywych PPW i UKS strefy wzbogacone w minerały kruszcowe, a więc o zwiększonej polaryzowalności, zaznaczyły się przewyższeniami krzywej PPW nad UKS. Przykłady interpretacji potencjałów PW w tym rejonie przedstawiają ryc. 1 i 2. Dla stref okruszcowanych wyznaczonych metodą nakładek w wielu przypadkach wyliczany był punktowo (co 0,5 m) współczynnik polaryzowalności, którego wzrost wartości naprzeciw warstw okruszcowanych (wyznaczonych metodą nakładek) był potwierdzeniem prawidłowości interpretacji.

W celu przeanalizowania skuteczności profilowania potencjałów PW wyniki interpretacji geofizycznej były szczegółowo porównywane z wynikami analiz chemicznych próbek pobranych z rdzenia wiertniczego. Na omawianym obszarze na podstawie analiz chemicznych określano procentową zawartość następujących metali: cynku, ołowiu, miedzi i molibdenu. Nie określano natomiast zawartości żelaza związanego głównie w pirycie. Fakt ten wpłynął na utrudnienie przeprowadzenia korelacji ilościowej między wynikami pomiarów geofizycznych a sumaryczną zawartością metali, ponieważ piryt towarzyszy na ogół innym siarczkom, a w wielu strefach jest on minerałem podstawowym.

Występowaniem pirytu należy również tłumaczyć fakt rejestrowania niekiedy na pomiarach geofizycznych stref okruszcowanych, nie potwierdzonych wynikami analiz chemicznych. Kilka takich stref zaznaczyło się m.in. w otworze A-5 bis (ryc. 1). Makroskopowe obserwacje pirytu w rdzeniu potwierdzają ten wniosek. Wpływ pirytu widoczny jest również na ryc. 3, gdzie przytoczono szczegółową analizę jednej ze stref wzbogaconych w siarczki. W słupku A wymieniono na podstawie analiz chemicznych i opisu rdzenia występujące siarczki, podając na pierwszym miejscu dominujący na danym odcinku. Obok naniesiono wykres procentowej zawartości metali, określony na podstawie analizy chemicznej. Dalej wykreślono wartości współczynnika polaryzowalności i nałożone krzywe UKS i PPW. W słupku B naniesiono strefy okruszcowane, wyznaczone na podstawie pomiarów geofizycznych.

Jak widać w interwale 1 i 4 minerałem przeważającym jest piryt i z punktu widzenia badań złożowych nie są one interesujące, natomiast na podstawie przesłanek geofizycznych interwały te należy zaliczyć do strefy okruszcowanej, podobnie jak interwał 2 i 3, gdzie występuje większa ilość minerałów interesujących pod względem złożowym. Z przytoczonego przykładu wynika ponadto, że w strefach 2 i 3, w których występują podwyższone ilości sfalerytu, galeny i chalkopirytu ostatnie miejsce zajmuje piryt.

Szczegółowa analiza profilów litologicznych potwierdziła występowanie tej prawidłowości jeszcze w kilku innych strefach, co sugeruje, że ze wzrostem koncentracji minerałów interesujących z punktu widzenia złożowego zawartość pirytu maleje. To ostatnie stwierdzenie stwarza, w miarę nagromadzenia większej ilości informacji możliwość przeprowadzenia korelacji ilościowej między procentową zawartością metali a wartością współczynnika polaryzowalności. Dla stref okruszcowanych w utworach staropaleozoicznych mamy tych informacji na razie jeszcze za mało, natomiast próba takiej korelacji była przeprowadzona przez J. Majorowicza (5) w dolomitach kruszconośnych rejonu Siewierz-Zawiercie.

Przy korelacji wyników analiz chemicznych i wartości współczynnika polaryzowalności należy brać również pod uwagę, iż przewodność elektronowa sfalerytu (ZnS) jest uwarunkowana obecnością domieszek żelaza, miedzi lub innych metali, natomiast czysty sfaleryt nie jest przewodnikiem elektronowym. Teoretycznie domieszki Fe w sfalerycie mogą dochodzić do 26% i tym należy przypuszczalnie tłumaczyć fakt, że w licznych publikacjach jest on wymieniany jako minerał o przewodnictwie elektronowym na równi z galeną, pirytem itp. minerałami. Za brakiem własności polaryzowalnościowych sfalerytu przemawia przykład na ryc. 3. Jak widać w interwale 2 procentowa zawartość cynku (0,55%) w sposób znaczący podwyższa sumaryczną mineralizację, co nie znajduje jednak odbicia w wartości współczynnika polaryzowalności.

Niezależnie od pewnych braków metody profilowania potencjałów PW, które starano się tu omówić, jest ona skuteczna przy lokalizacji stref rudnych. Zaletą jej jest duża „czułość", pozwalająca na wykrywanie stref wzbogaconych w siarczki metali przy niewielkiej ich zawartości procentowej. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w otworach omawianego rejonu starano się przeanalizować skuteczność tej metody.

Na ryc. 4 punktami zaznaczono ilość (n) analizowanych stref, nanosząc je w kolumnach zależnie od sumarycznej zawartości (Kr) metali: Pb. Cu. Mo. Rozpatrywano te strefy, w których Kr było większe od 0,1%. Punkty przekreślone oznaczają strefy potwierdzone przez profilowanie potencjałów PW. Jak widać, powyżej $Kr = 0{,}3\%$ tylko jedna z 36 stref nie znalazła odzwierciedlenia na profilowaniu PW. W przedziałach o mniejszej koncentracji występują za-

równo strefy, nie zaznaczające się na profilowaniu PW, jak i te, które znalazły tam odbicie. W tych ostatnich przypuszczalnie występują znaczne domieszki pirytu.

WNIOSKI

Profilowanie PW dostarcza cennych informacji o lokalizacji stref wzbogaconych w minerały rudne. Stanowi ono uzupełnienie prac geologicznych i może być przydatne przy typowaniu odcinków rdzenia do analizy chemicznej, a w przypadkach niepełnego uzysku rdzenia stanowić może informację podstawową odnośnie do głębokości i miąższości tych stref.

Zastosowana w omawianym rejonie interpretacja metodą nakładek w pełni wystarcza do interpretacji jakościowej, polegającej na stwierdzeniu i zlokalizowaniu stref okruszcowanych. Jest o wiele mniej pracochłonna od stosowanej dotychczas metody punktowego obliczania współczynnika polaryzowalności wzdłuż całego profilu formacji zawierającej strefy wzbogacone w rudy metali.

Wskazane jest prowadzenie dalszych badań mających na celu zwiększenie efektywności metody profilowania PW. Powinny iść one w kierunku ustalenia wpływu poszczególnych składników rudy polimetalicznej na własności polaryzowalnościowe skał. Nie należy również porzucać prób korelacji ilościowej między procentową zawartością tych składników, a wartością współczynnika polaryzowalności.

Wskazane jest doskonalenie techniki pomiarowej, np. przez wprowadzenie sond o dużym rozstawie elektrod pomiarowych, pozwalających na zwiększenie zasięgu strefy peneracji wokół otworu wiertniczego.

SUMMARY

The paper presents some examples of the use of induced polarity potentials logging to trace zones of increased ore mineralization, primarily represented by sulfides of iron, zinc, lead, copper and molybdite in the studied area. Comparison of the results obtained from logging and chemical analyses of core material made it possible to analyse accuracy of the former method.

LITERATURA

1. Bałoszew A. H., Topolskij I. J. — Skważinnyje issłiedowanija mietodom WP na swincowo-cinkowych miestorożdienijach. Razw. i ochr. niedr 1975.
2. Banaś M., Piekarski K. — Mineralizacja polimetaliczna w utworach staropaleozoicznych w obszarze Myszków-Mrzygłód. Pr. Inst. Geol. t. 83, 1978.
3. Bolewski A. — Zarys mineralogii. Skrypt AGH, Kraków 1971.
4. Komarow W. A. — Elektrorazwiedka mietodom wyzwannej polioryzacji. Leningrad 1972.
5. Majorowicz J. — Analiza badań geofizycznych w wybranych otworach rejonu Siewierz-Zawiercie, pod kątem okruszcowania cynkiem i ołowiem. Inst. Geol. Warszawa 1971.
6. Topulos T. — Wyniki badań geofizyki wiertniczej. Pr. Inst. Geol. t. 83, 1978.

РЕЗЮМЕ

В статье приведены примеры профилирования потенциалов возбуждённой поляризации ПВ для обнаружения зон с повышенной рудной минерализацией, которая в описыванном районе представлена главным образом сульфидами железа, цинка, свинца, меди и молибдена. Результаты профилирования ПВ сравнены с результатами химических анализов буровых кернов и на основании этого сравнения проведен анализ эффективности описыванного метода.