



STEFAN RULSKI

Przedsięb. Badań Geofizycznych

ROLA I MIEJSCE BADAŃ GEOFIZYCZNYCH PRZY POSZUKIWANIU I ROZPOZNAWANIU ZŁÓŻ RUD CYNY

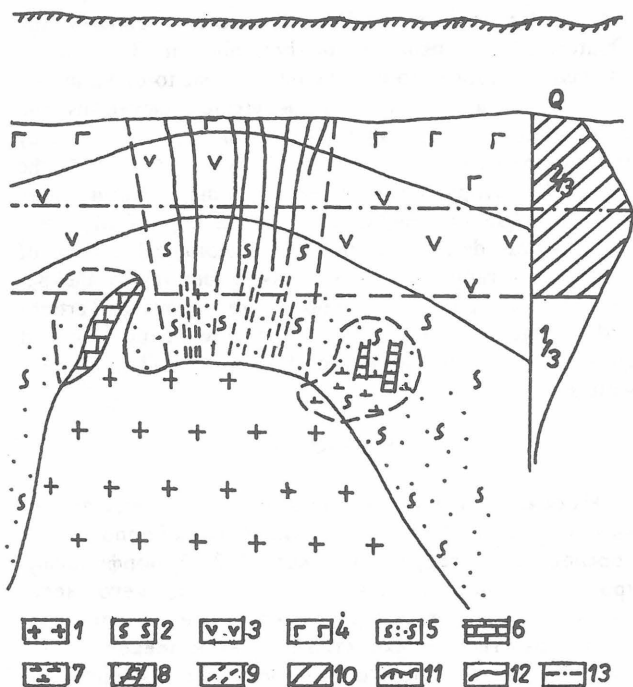
UKD 550.837/838.013:553.45'3/9.04.001.57(438 – 14:234:571)

Model geologiczny złóż cyny w świetle nowych badań geologiczno-geofizycznych

Poszukiwania i rozpoznanie złóż rud cyny były zawsze problemem niezmiernie trudnym i pracochłonnym, a ich wyniki często nie przynosiły zadowalających rezultatów.

W latach siedemdziesiątych, na podstawie najnowszych obserwacji oraz wyników badań geologicznych wielu złóż cyny, występujących głównie na terytorium ZSRR, CSRS i NRD, uzyskano w tej dziedzinie nowe rozwiązania.

Obecnie geolodzy interesują się poszukiwaniem złóż rud cyny zalegających na znacznych głębokościach i za-



Ryc. 1. Geologiczny model złóż cyny (wg L.T. Miszina)

1 – granity, 2 – biotytyty, 3 – propylity, 4 – berezyty, 5 – rogowce, 6 – skarny, 7 – grejzeny, 8 – pegmatyty, 9 – kwarcowo-kasyterytowe żyły i sztokwerki, 10 – żyły rudne, 11 – paleopowierzchnia, 12 – współczesna powierzchnia terenu, 13 – optymalny poziom mineralizacji

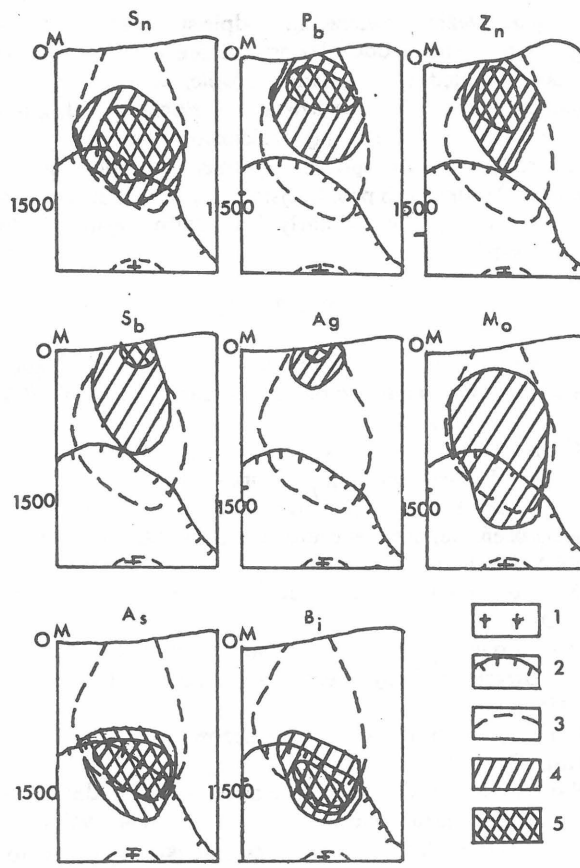
Fig. 1. Geological model of Sn deposits (after L.T. Miszin)

1 – granites, 2 – biotitites, 3 – propillites, 4 – beresites, 5 – hornfelse, 6 – skarns, 7 – greisens, 8 – pegmatites, 9 – quartz-cassiterite veins and stockwerks, 10 – ore veins, 11 – paleosurface, 12 – present-day terrain surface, 13 – optimum mineralization horizon

znaczących swą obecność na powierzchni mineralizacją innych niż cyna metali lub nieprzemysłową mineralizacją Sn (9). Znaczenie tego typu złóż wzrasta również z tej przyczyny, że są to przeważnie złoża niezerodowane, często o dużych zasobach.

Oplacalna ekonomicznie głębokość eksploatacji złóż rud cyny zależy od zapotrzebowania, pracochłonności udostępnienia złoża oraz wielkości zasobów. Uważa się, iż złoża typu żyłowego: kasyterytowo-kwarcowe i kasyterytowo-krzemianowe o wysokiej zawartości cyny od 0,5 do 1,5%, są rentowne do głębokości ok. 800 m. W przypadku złóż sztokwerkowych charakteryzujących się niską zawartością Sn (od 0,15 do 0,8%) przy dużych zasobach, opłacalna głębokość eksploatacji dochodzi zależnie od warunków geologicznych od 250 do 500 m.

Aby osiągnąć zakładaną wyżej głębokość rozpoznania niezbędne staje się nowe podejście do poszukiwań i rozpoznawania złóż rud cyny, polegające na skonstruowaniu geologiczno-fizycznego modelu złoża Sn i wykorzystaniu jego strefowej budowy w celu określenia prognoz mineralizacji. Model taki skonstruowany na podstawie badań wielu złóż występujących na terytorium ZSRR podany został w cytowanej już wyżej publikacji L.T. Miszina (9) wraz ze schematycznymi przekrojami pionowymi rozkładu parametrów fizycznych w obrębie pola rudnego oraz rozkładu Sn i pierwiastków współtowarzyszących (ryc. 1, 2, 3).



Ryc. 2. Uogólniony schemat rozkładu cyny i pierwiastków towarzyszących w obrębie pola rudnego w przekroju pionowym (wg L.T. Miszina)

1 – granit, 2 – kontur biotytytów, 3 – kontur pola rudnego Sn, 4 – koncentracje podwyższone, 5 – maksymalnie podwyższone koncentracje

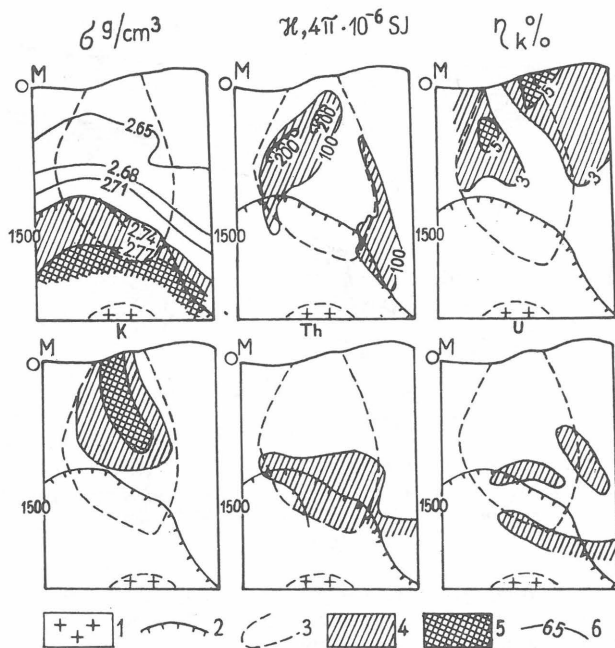
Fig. 2. Simplified scheme of distribution of Sn and accompanying elements with ore field in the vertical (after L.T. Miszin)

1 – granite, 2 – contour of biotitites, 3 – contour of Sn ore field, 4 – increased concentrations, 5 – the highest concentrations

Podstawowymi elementami modelu geologicznego są: kupała batolitu granitowego i strefy regionalnego metamorfizmu (biotytyty, propylity, berezyty) oraz lokalnie rozmieszczone strefy metasomatytów, dyslokacje tektoniczne, dajki i mineralizacja, występujące w obrębie pola rudnego.

Rejony cynonośne związane są z batolitami granitowymi, najczęściej ze strukturami drugiego lub trzeciego rzędu, obecność których oraz przypuszczalną głębokość lokalizuje się głównie na podstawie danych uzyskanych z interpretacji pomiarów grawimetrycznych. Geolodzy zajmujący się problematyką rudną dzielą złoża cyny (na podstawie związku z utworami magmowymi) na trzy typy (9):

- formacje strefy intruzywnej ze złożami grupy krzemianowo-kwarcowej, charakteryzujące się bliskim związkiem mineralizacji z intruzją granitową,
- formacje strefy okołointruzywnej ze złożami krzemianowo-węglanowymi,
- formacje strefy nadintruzywnej ze złożami grupy krzemianowo-siarczkowej, charakteryzujące się paragenezykami z małymi intruzjami i kompleksami wulkanicznymi.



Ryc. 3. Uogólniony schemat rozkładu parametrów fizycznych w obrębie pola rudnego Sn wg L.T. Miszina

1 – granit, 2 – kontur biotytów, 3 – kontur pola rudnego Sn, 4 – podwyższone wartości parametrów, 5 – anomalne wartości parametrów, 6 – izolinie wartości określonych parametrów

Fig. 3. Simplified scheme of distribution of physical parameters within Sn ore field

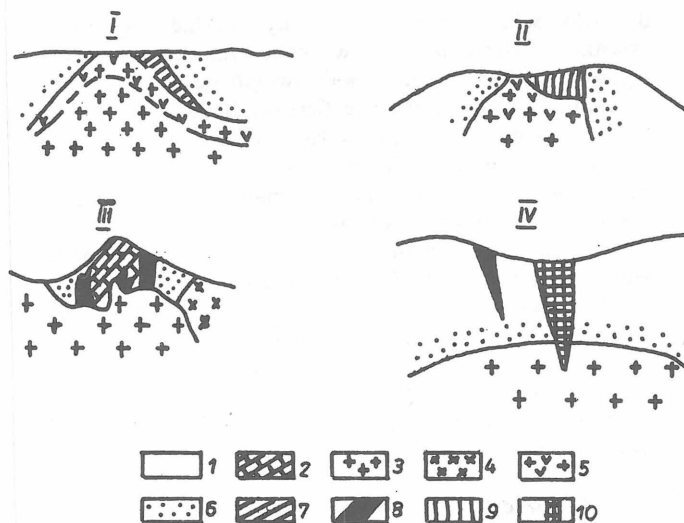
1 – granite, 2 – contour of biotites, 3 – contour of Sn ore field, 4 – increased values of parameters, 5 – anomalous values of parameters, 6 – isolines of values of individual parameters

Na ryc. 4 przedstawiono złoża cyny posiadające bliskie związki z granitami. Ta grupa zawiera złoża pegmatytowe, kwarcowo-kasyterytowe (w tym grejzenowe), złoża skarno-owe oraz tzw. przejściowe (niskosiarczkowe). Mineralizacja cynowa w tych przypadkach zlokalizowana jest w egzokontakcie kopuł granitowych lub w bezpośrednim sąsiedztwie apikalnej części granitów.

Na ryc. 5 przedstawiono przykłady złóż Sn zlokalizowane w obrębie strefy nadintruzywnej. Obejmują one złoża kasyterytowo-krzemianowe i kasyterytowo-siarczkowe, często posiadające znaczny stopień zmineralizowania. Rozmiary pól rudnych są na ogół współmierne z rozmiarami batolitów granitowych. Głębokość formowania granitów, ich skład wewnętrzny, ośrodek je otaczający oraz wiek powstania – określają typ złoża, wielkość okruszczenia i perspektywiczność.

Zależnie od składu petrograficznego granitów i głębokości ich zalegania wskaźnikami określonego typu mineralizacji Sn są takie pierwiastki, jak: fluor, chlor i bor. Innym ważnym elementem modelu geologicznego złoża rud cyny jest ich rozmieszczenie w obrębie stref regionalnego metamorfizmu. W przekroju pionowym wyróżnia się następujące strefy metamorfizmu: dolną – biotytową, średnią – propylitową i górną – berytytową*. Miąższość tych stref

* Biotytyzacja – metasomatyczne przeobrażenie skał w polu działania metamorfizmu kontaktowego poprzez dopływ potasu. Propylityzacja – wtórne nagromadzenie chlorytu i węglanów w skałach. Berytyzacja – termalne przeobrażenie skał w polu działania metamorfizmu kontaktowego (niskotemperaturowe) polegające na ich okwarcowaniu, albityzacji, pirytyzacji i karbonatyzacji.



Ryc. 4. Położenie pól rudnych Sn względem intruzji granitowych (strefa intruzywna i okołointruzywna) wg L.T. Miszina na przykładzie złóż cyny: I – Cinovėc, II – Tigrinoje, III – Akdźilga, IV – Pyrkakaiskije

1 – utwory osadowe, 2 – skarny, 3 – granity, 4 – granodiority, 5 – grejzeny i granity, 6 – strefy metamorfizmu kontaktowego, 7 – grejzeny cynonośne, 8 – skarny cynonośne, 9 – żyły rudne Sn, 10 – sztokwerki cynonośne

Fig. 4. Location of Sn ore fields in relation to granite intrusions (intrusive and circum-intrusive zones) after L.T. Miszina at the example of Sn deposits: I – Cinovėc, II – Tigrinoje, III – Akdźilga, IV – Pyrkakaiskije

1 – sedimentary rocks, 2 – skarns, 3 – granites, 4 – granodiorites, 5 – greisens and granites, 6 – zones of contact metamorphism, 7 – Sn-bearing greisens, 8 – Sn-bearing skarns, 9 – Sn ore veins, 10 – Sn-bearing stockwerks

może osiągać od ok. 1 do 2 km. Przemysłowa część mineralizacji zlokalizowana jest najczęściej w propylitach. Jeżeli ścięcie erozyjne przechodzi przez strefę propylitową i kopuła biotytów znajduje się głębiej, to taki przypadek jest optymalny dla poszukiwań złóż o znaczeniu przemysłowym. Dla każdego typu mineralizacji istnieje optymalny poziom koncentracji zlokalizowany na określonej głębokości. Dlatego, jeżeli istnieje możliwość zrekonstruowania paleopowierzchni, można również uzyskać ważną informację odnośnie do perspektyw poszukiwania mineralizacji.

Zgodnie z przedstawionymi wywodami odnośnie do podstawowych elementów modelu, tzn. położenia pól rudnych w stosunku do batolitów granitowych, stref regionalnego metamorfizmu i paleopowierzchni model geologiczny złóż Sn (w ogólnym przekroju) będzie wyglądał tak jak przedstawiono na ryc. 1. Model geologiczny określa pozycję i typ okruszczenia w obrębie dowolnych formacji geologicznych.

W endo- i egzokontaktach granitów rozmieszczone są złoża typu grejzenów, a w pewnej odległości w rogowcach złoża typu sztokwerkowego. W propylitach, a często i biotytach występują złoża Sn typu żyłowego.

Podstawowymi elementami wykorzystywanymi przy określaniu perspektyw wykrycia przemysłowej mineralizacji Sn są: prawidłowości zmian właściwości geochemicznych oraz parametrów fizycznych. Strefowość geochemiczna jest odbiciem strefowości mineralogicznej. Dla strefy nadrudnej charakterystyczne są takie pierwiastki, jak: Sb, In, Pb, Ag; dla rudnej Sn, Cu; dla położonej głębiej

Bi i Mo. Schematyczny (uogólniony) rozkład cyny i pierwiastków towarzyszących (w pionowym przekroju) dla typowego pola rudnego, przedstawiono na ryc. 2.

Odnosnie do parametrów fizycznych, to:

– prawidłowością jest wzrost gęstości utworów od 2,64 g/cm³ w poziomach przypowierzchniowych do 2,77 g/cm³ w poziomach niższych (maksymalną gęstością charakteryzują się biotytyty i rogowce),

– minimalne wartości podatności magnetycznej przypadają na centralną część pola rudnego,

– podwyższone wartości polaryzowalności są charakterystyczne dla górnych części złoża,

– obserwuje się prawidłowość w rozprzestrzenieniu pierwiastków promieniotwórczych.

Schematyczny rozkład parametrów fizycznych przedstawiony został na ryc. 3.

Geofizyczne kryteria i ich wykorzystanie przy poszukiwaniu mineralizacji Sn

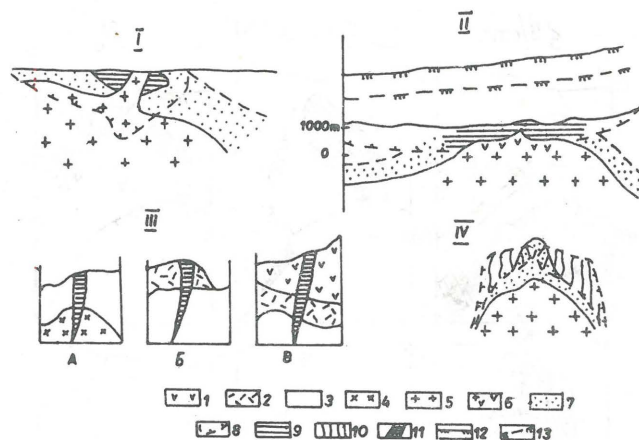
Przedstawiony model geologiczny i schematy pozwalają prognozować typ okruszczenia i perspektywiczność złoża, a w konsekwencji zaprojektować optymalny kompleks metod geofizycznych, niezbędny do wykrycia i rozpoznania poszukiwanej mineralizacji Sn. Należy jednak ostrzec przed uproszczonym rozumieniem modelu. Rzadko w obrębie jednego złoża można stwierdzić występowanie wszystkich elementów, zawartych w modelu. Obecnie wg L.T. Miszina, przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu rejonów perspektywicznych w celu stwierdzenia złóż rud cyny stosowany jest następujący kompleks metod geofizycznych:

A. Pomiary grawimetryczne pozwalające lokalizować wypiętrzenia biotytytów i granitów oraz duże struktury tektoniczne. Większość rejonów cynonośnych w planie regionalnym są obecność zaznacza minimami resztkowych anomalii siły ciężkości. Powiązanie takie uwarunkowane jest obecnością dużych ciał granitowych (batolitów) determinujących rozmieszczenie jednostek metalogicznych.

W obrazie pola grawitacyjnego obiekty rudne z różnym stopniem ścienia erozyjnego i różną głębokością zalegania oraz zmienną miąższością granitów i biotytytów – przejawiają się różnorodnie. W złożach ze zerodowaną strefą nadrudną, gdzie kopuła biotytytów zalega na głębokości i km i głębiej, nie rejestruje się lokalnych anomalii siły ciężkości. Gdy głębokość zalegania biotytytów jest mniejsza niż przytoczona powyżej (średni stopień erozji) rejestruje się oddzielne anomalie Δg o amplitudzie 0,5–1 mgł. Jednak wpływ granitów charakteryzujących się deficytem gęstości 0,1–0,2 g/cm³ jest znaczny i rejonu złożowe (zwłaszcza przy dużym ścieniu erozyjnym) charakteryzują się ujemnymi anomaliami Δg .

B. Pomiary magnetyczne. Na podstawie charakteru pola magnetycznego można sądzić o głębokości ścienia erozyjnego, a także określić przypuszczalną głębokość zalegania intruzji. Podwyższone wartości pola magnetycznego okonturowują centralną część pola rudnego, ponieważ egzokontaktowe strefy rogowców charakteryzują się podwyższoną podatnością magnetyczną. Minimalne wartości podatności magnetycznej są charakterystyczne dla części pola rudnego, gdzie jednocześnie obserwuje się głęboko hydrotermalnie zmienione utwory i maksymalną produktywność.

C. Pomiary geoelektryczne. Przy poszukiwaniu mineralizacji cynowej szeroko stosuje się metody geoelektryczne, ponieważ z mineralizacją cynową współwystępuje na ogół siarczkowa mineralizacja polimetaliczna.



Ryc. 5. Położenie pól rudnych Sn względem intruzji granitoidowych (strefa nadintruzyjna) wg L.T. Miszina na przykładzie złóż cyny: I – Uczkoszkon, II – Deputatskoje, III – Komsomolski Rejon, IV – Dubrowskoje

1 i 2 – utwory kredowe, 3 – piaskowce jurajskie, 4 – granodiority, 5 – granity, 6 – grejzeny i granity, 7 – rogowce, 8 – kontur pola rudnego, 9 – produktywne strefy mineralizacji, 10 – żyły rudne, 11 – strefy zmineralizowane, 12 i 13 – rekonstrukcja paleopowierzchni w okresie kredowym (12) i jurajskim (13)

Fig. 5. Location of Sn ore fields in relation to granitoid intrusions (supra-intrusive zone) after L.T. Miszin at the example of Sn deposits: I – Uczkoszkon, II – Deputatskoje, III – Komsomolski Rejon, IV – Dubrowskoje

1 and 2 – Cretaceous rocks, 3 – Jurassic sandstones, 4 – granodiorites, 5 – granites, 6 – greisens and granites, 7 – hornfelses, 8 – contour of ore field, 9 – productive mineralization zones, 10 – ore veins, 11 – mineralized zones, 12 and 13 – reconstruction of paleosurfaces from Cretaceous (12) and Jurassic (13) times

Podwyższone wartości polaryzowalności i anomalie PS (od ok. –100 do –500 mV) są charakterystyczne dla górnych części pól rudnych, co wiąże się ze wzrostem koncentracji minerałów siarczkowych. Najczęściej stosuje się metodę polaryzacji wzbudzonej (PW), zwłaszcza dotyczy to odcinków o intensywnym odwodnieniu i rejonów o przewadze mineralizacji typu rozproszonego.

Strefy zmineralizowane i struktury rudonośne odzwierciedlają się w postaci liniowo wyciągniętych stref obniżonej oporności ρ_k (400–800 omm). Najwyższą opornością charakteryzują się utwory kwarcowo-biotytowo-rogowcowe (od 5000 do 20 000 omm).

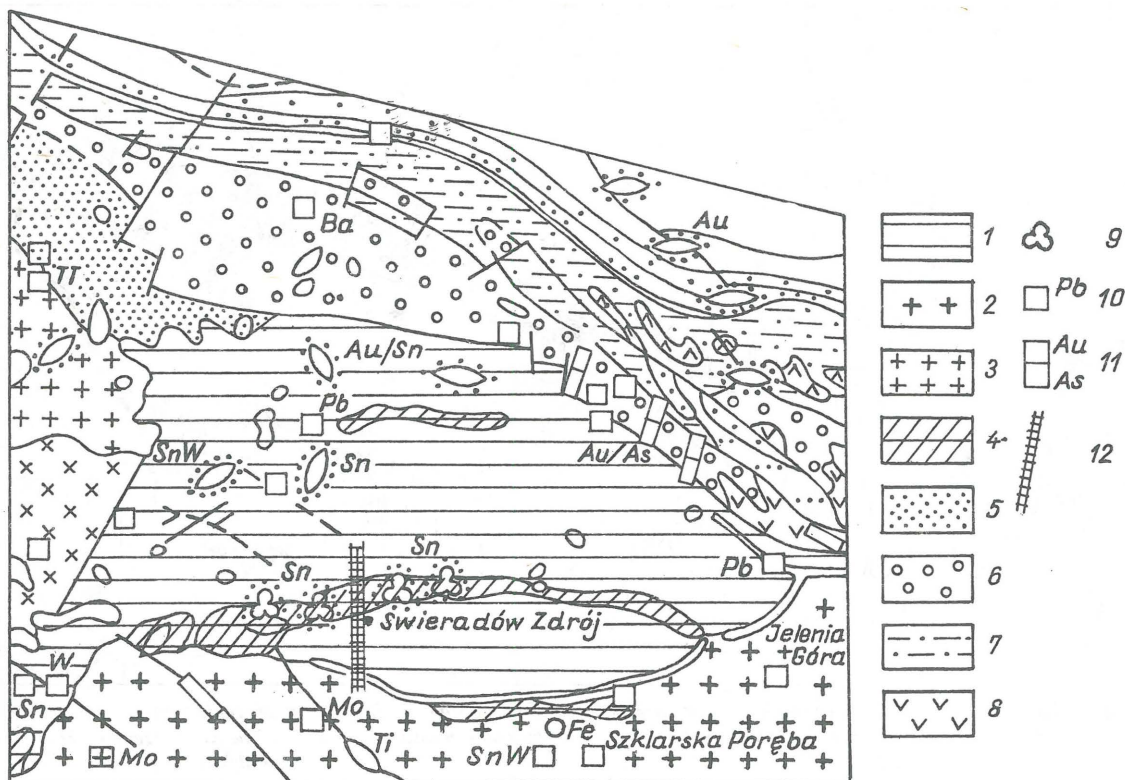
D. Metody radiometryczne. Obserwowana jest prawidłowość w przestrzennym rozkładzie pierwiastków promieniotwórczych. Potas gromadzi się w górnej części pól cynonośnych, natomiast Th i U są charakterystyczne dla partii przykorzeniowych centralnej części pól rudnych.

Podsumowując zależności pomiędzy przyczyną geologiczną a właściwościami pól fizycznych, to przedstawiają się one następująco:

przyczyny geologiczne

właściwości pól fizycznych i parametrów fizycznych

struktury nadintruzyjne i kopuły (granitoidy, rogowce, biotytyty) – lokalne anomalie siły ciężkości, koncentryczne anomalie pola magnetycznego
granitoidy rudonośne – obniżone wartości pola magnetycznego, obramowane kolistymi anomaliami dodatnimi, podwyższone zawartości potasu



Ryc. 6. Wycinek mapy metalogenicznej Masywu Czeskiego i regionów przyległych z lokalizacją złoża cyny w rejonie Świeradów Zdroju w Górach Izerskich, skala 1:500 000

Fig. 6. Section of metallogenic map of the Bohemian Massif and adjoining regions and location of Sn deposit in the Świeradów Zdrój area in the Góry Izerskie Mts, scale 1:500 000

1 – granito- i ortognejsy prewarwaryscyjskie (izerskie), 2 – granity warwaryscyjskie (karkonoskie), 3 – granity assyntyjskie, 4 – formacja pelitowo-szarowakowa, proterozoiczno-kambryjska (łupki izerskie), 5 – formacja pelitowo-psamitowa, proterozoiczno-kambryjska, 6 – subformacja pelitowo-psamitowa, kaledońska, 7 – osady molasowe, późnowaryscyjskie, 8 – wulkanity, 9 – ważniejsze przejawy mineralizacji Sn, 10–11 – innych pierwiastków, 12 – lokalizacja profilu grawimetrycznego

1 – pre-Variscan (Izera) granito- and orthogneisses, 2 – Variscan (Karkonosze) granites, 3 – Assynthian granites, 4 – Proterozoic-Cambrian pelite-greywacke formation (Izera shales), 5 – Proterozoic-Cambrian pelite-psammite formation, 6 – Caledonian pelite-psammite subformation, 7 – Late Variscan molasse deposits, 8 – volcanic rocks, 9 – major traces of Sn mineralization, 10–11 – as above, mineralization with other elements, 12 – location of gravimetric profile

strefy tektoniczne pierwszego i drugiego rzędu – gradienty siły ciężkości, liniowe anomalie magnetyczne i ρ_k

strefy siarczków – anomalie PS, PW, procesów przejściowych, liniowe anomalie magnetyczne i ρ_k

hydrotermalnie zmienione utwory (grejzeny, feldszpacytacja, serycytyzacja) – podwyższone zawartości potasu, uranu, rzadko toru

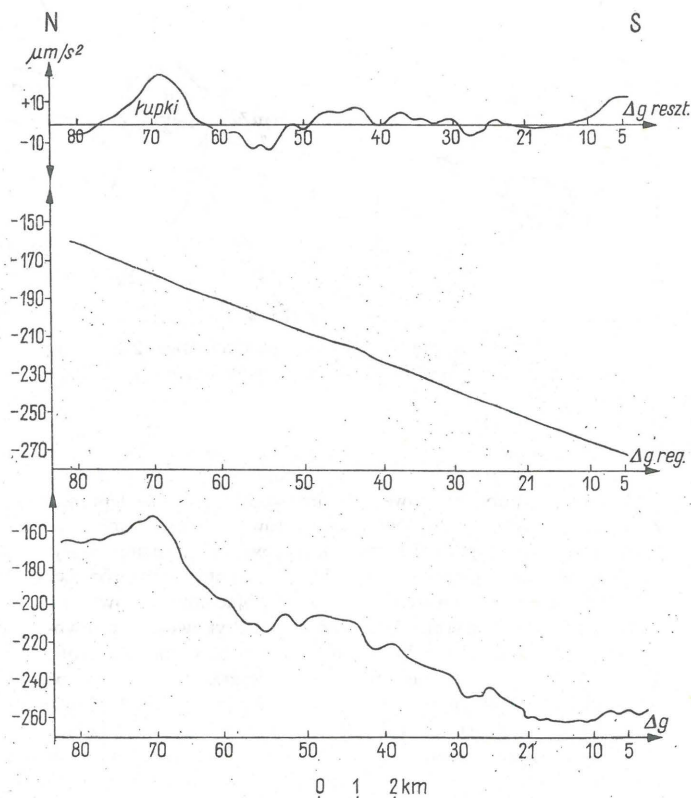
żyły kwarcowo-kasytowo i kwarcowo-turmalinowe – podwyższona piezoelektryczność

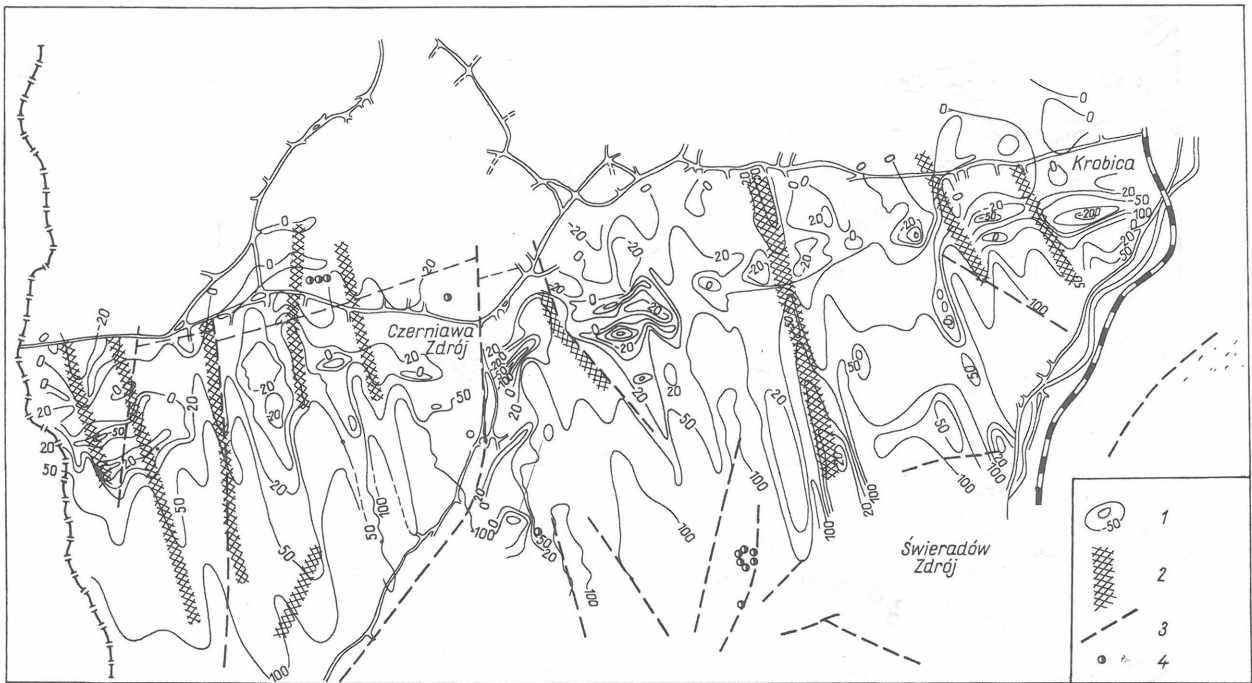
Niektóre aspekty badań geofizycznych związanych z poszukiwaniami i rozpoznaniem cyny w Górach Izerskich

W Polsce wykonano kompleksowe badania geofizyczne na złożu cyny w rejonie Gierczyna – Krobicy i Czerniawy Zdroju w Górach Izerskich (ryc. 6). Jest to jak dotychczas jedyne u nas udokumentowane złożo cyny. Obecnie są tam prowadzone prace wiertnicze i dokumentacyjne.

Ryc. 7. Profil grawimetryczny przez Góry Izerskie (wg W. Dudy i N. Bochni 1967)

Fig. 7. Gravimetric profile through the Góry Izerskie Mts (after W. Duda and N. Bochnia 1967)



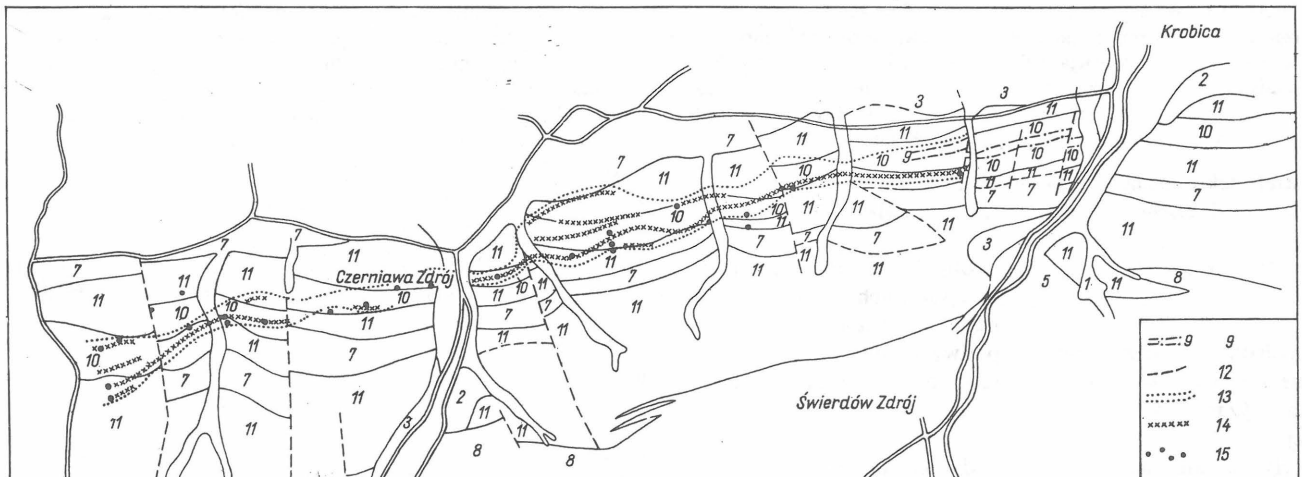


Ryc. 8. Mapa rozkładu linii ekwipotencjalnych ΔV w obrębie wychodni łupków łyszczykowych w Górach Izerskich (wg S.T. Rulskiej)

Fig. 8. Map of distribution of equipotential lines ΔV in area of outcrops micaceous schists in the Góry Izerskie Mts (after S.T. Rulska)

1 – izolinie ΔV w mV, 2 – przybliżona lokalizacja stref tektonicznych wg danych badań geofizycznych, 3 – dyslokacje tektoniczne wg H. Chilińskiej i I. Fistka, 4 – źródła wód mineralnych

1 – isolines ΔV in mV, 2 – generalized location of tectonic zones after geophysical data, 3 – tectonic dislocations after H. Chilińska and I. Fistek, 4 – mineral water springs

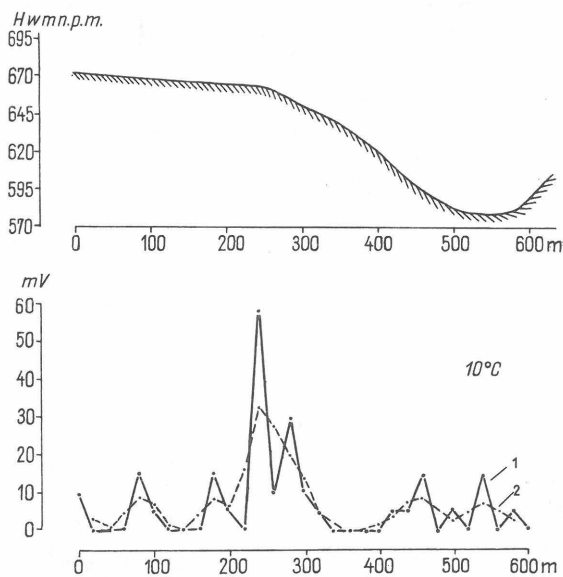


Ryc. 9. Mapa geologiczna rejonu Krobica-Czerniawa Zdrój (wg M. Szalamachowej) z wynikami badań geofizycznych (wg S. Rulskiego)

Fig. 9. Geological map of the Krobica-Czerniawa Zdrój region (after M. Szalamachowa) with results of geophysical surveys (after S. Rulski)

1 – mady, piaski i żwiry den dolinnych, 2 – piaski i żwiry tarasów, 3 – gliny deluwialne, 5 – leukogranity, 7 – gnejsy cienkolaminowane, drobnooczkowe i słojuowo-oczkowe, 8 – leptynity z przeławieniami kwarcytów i kwarcytów z turmalinami, 9 – rudy cyny, 10 – łupki chlorytowo-kwarcowe z dystenem, chlorytoidem, partiami bogate w porfiroblasty granatów oraz soczewy i laminy szklitych kwarców (poziom litofacjalny typowy dla koncentracji kasyterytu), 11 – łupki łyszczykowo-chlorytowo-kwarcowe partiami ze skalaniem i porfiroblastami granatów, 12 – uskoki, 13 – kontur strefy o podwyższonych anomalnie wartościach współczynnika polaryzacji wzbudzonej, 14 – lokalizacja przebiegu maksimów współczynnika polaryzacji wzbudzonej, 15 – lokalizacja ekstremalnych (dodatnich) wartości anomalii magnetycznej

1 – muds, sands and gravels of valley floors, 2 – sands and gravels of terraces, 3 – deluvial loams, 5 – leucogranites, 7 – fine-laminated, fine-eyed and ring-eyed gneisses, 8 – leptinites with intercalations of quartzites and tourmaline-bearing quartzites, 9 – Sn ores, 10 – chlorite-quartz schists with distene, chloritoid, locally rich in garnet porphyroblasts and glossy quartz lenses and laminae (lithofacies horizon typical of cassiterite concentrations), 11 – mica-chlorite-quartz schists in some parts with feldspars and garnet porphyroblasts, 12 – faults, 13 – contour of zone with anomalously increased values of induced polarity coefficient, 14 – location of the course of maxima of induced polarity coefficient, 15 – location of extremal (positive) values of magnetic anomalies



Ryc. 10. Przykład wyników pomiarów zawartości par rtęci w gazach glebowych w obrębie strefy dyslokacyjnej

1 – wartości uzyskane w trakcie pomiarów polowych, 2 – krzywa uśredniona

Fig. 10. An example of results of measurements of Hg vapour content in soil gases within dislocational zone

1 – values obtained in the course of field surveys, 2 – averaged curve

Prace geofizyczne w tym rejonie rozpoczęto w 1955 r. i z przerwami kontynuowano do chwili obecnej. Jednocześnie z różnym natężeniem prowadzono badania geologiczne (6, 5, 3). Mineralizacja cynowa występuje tam w łupkach chlorytowo-łyszczykowo-kwarcowych, w których poza cyną stwierdzono występowanie: Co, Zn, Pb, Cu, Ni, Fe, FeS₂.

Budowę geologiczną przedstawiono na mapie geologicznej wg M. Szalamachowej (ryc. 9). Wyniki badań przedstawione przez M. Szalamachową w dokumentacji z przeprowadzonych prac wskazują, że w rejonie Krobicy złożowe koncentracje cyny zlokalizowane są w łupkach kwarcowo-chlorytowo-łyszczykowych w formie dwu stromo ustawionych pakietów o niewielkiej miąższości dochodzącej do ok. 2 m. Łupki te partiami są bogate w porfiroblasty granatów oraz laminy i soczewy szklistych kwarców. Czy ta zależność jest regułą dla całego obszaru perspektywicznego nie potrafimy obecnie odpowiedzieć, ze spostrzeżeń badaczy zajmujących się wcześniej powyższym rejonem wynika, że nie.

Wg S. Jaskólskiego i K. Mochnackiej (5) ciała rudne, to pokładowe cienkie soczewki, czasami nabrzmiałe nawet do kilku metrów grubości o rozciągłości dochodzącej maksymalnie do 100 m. Również co do genezy złoża w łupkach izerskich istnieje różnica poglądów. Przeważa pogląd o hydrotermalnym pochodzeniu złoża i powiązaniu z waryscyjskimi procesami intruzywnymi. Zwolennicy poglądów o pierwotnie osadowym pochodzeniu złoża sądzą, że okruszcowanie wykazuje pewne cechy litologiczno-facjalne i występuje w określonym poziomie stratygraficznym.

Badania geofizyczne wykonane w ostatnich latach w tym rejonie objęły zastosowanie wielu metod służących pośrednio i bezpośrednio do wykrywania mineralizacji rudnej, w tym metodę polaryzacji wzbudzonej, spektrometrię naturalnego promieniowania gamma, merkuro-

metrię oraz pomiary elektromagnetyczne.

Spróbujmy w nawiązaniu do prawidłowości zaobserwowanych w obrębie złóż, zlokalizowanych w ZSRR, CSRS, NRD i omówionych w pierwszej części artykułu, podsumować wyniki badań z rejonu Krobicy, Gierczyna oraz Czerniawy i wyciągnąć wnioski, chociaż charakterystyka geologiczna tego złoża nie jest w pełni adekwatna do przedstawionych przykładów.

Przystępując do prac poszukiwawczych w Górach Izerskich zdawano sobie sprawę, iż metodami geofizycznymi nie będzie można zlokalizować bezpośrednio stref anomalnych wywołanych tylko obecnością mineralizacji kasyterykowej. Ponieważ w tym rejonie mineralizacji kasyterykowej towarzyszy siarczkowa mineralizacja polimetaliczna (Zn, Pb, Cu, Fe), to wskazanie stref anomalnych związanych z obecnością tych siarczków prowadziło pośrednio do pomysłnego rozwiązania problemu.

A. Metoda grawimetryczna – w wyniku półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego można było ustalić ogólne założenia budowy geologicznej tej części Sudetów. Duży gradient poziomy siły ciężkości został zarejestrowany na kontakcie granitów karkonoskich i granitognejsów izerskich. Również łupki izerskie zbudowane w głównej swej masie z łyszczyków, tworzące równoleżnikowe pasmo w obrębie gnejsów izerskich, znajdują swoje odzwierciedlenie w rozkładzie anomalii Bougera i anomalii resztkowych siły ciężkości (ryc. 7). Przeprowadzone próby wyliczenia zasięgu głębokościowego tych łupków i ich geometrii wgłębnej metodą Skeelsa dały orientacyjną głębokość zalegania ich spągu ≈ 1500 m.

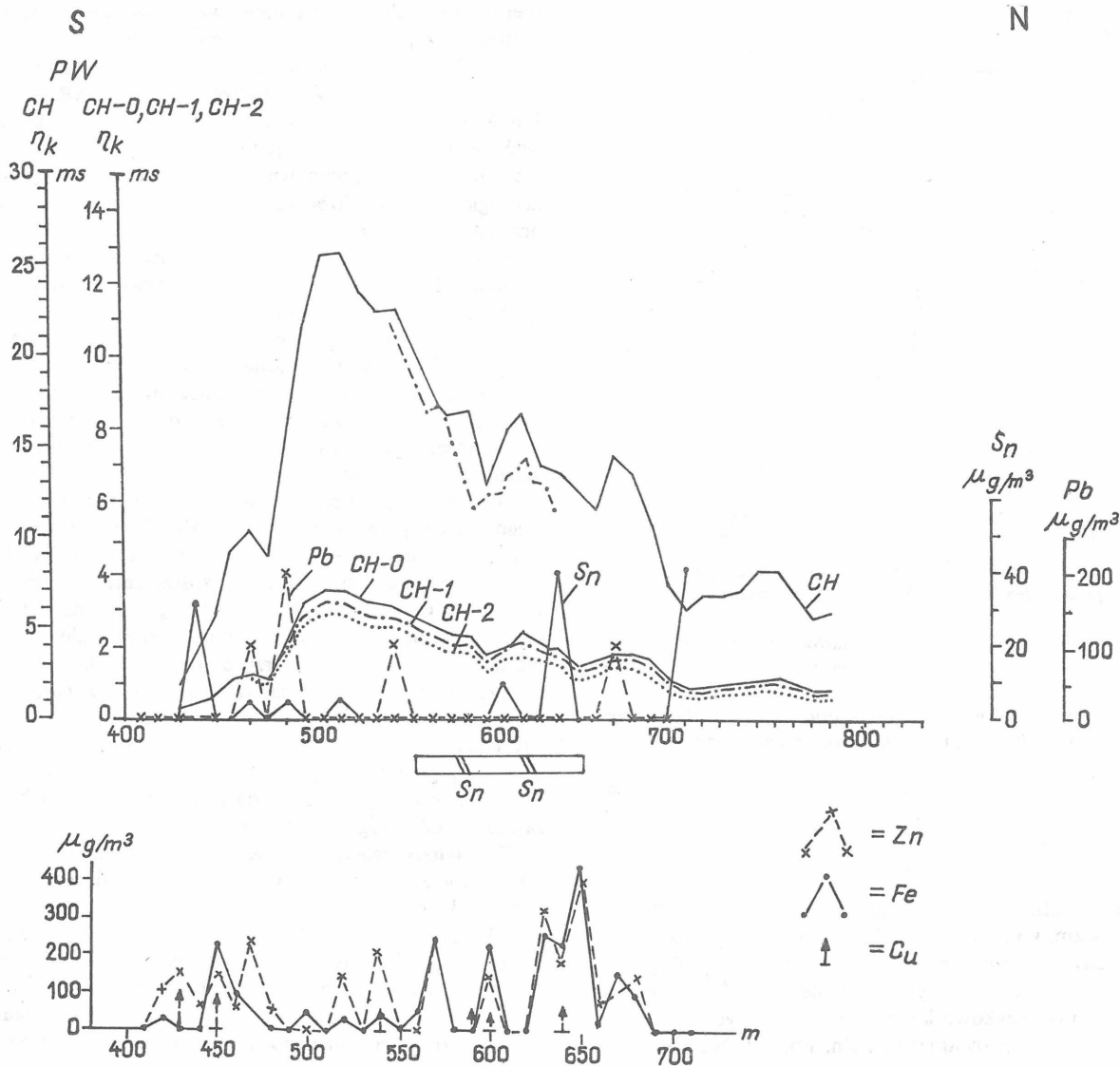
B. Metody geoelektryczne. 1. **Badania elektrooporowe.** W wyniku regionalnych pomiarów profilowych (o kierunku S–N) zarejestrowano w rejonie Szklarskiej Poręby strefę kontaktu granitu karkonoskiego z łupkami osłony metamorficznej, wykazującą zapadanie granitów ku N. Oporność pozorna w obrębie tej strefy waha się od 250 do 2000 omm. Granitognejsy izerskie wykazują wyraźne zróżnicowanie oporności pozornej od 6000 do 1000 omm.

W obrębie łupków izerskich ($\rho_k = 3000$ omm), w pomiarach bardziej zdetailizowanych, zaobserwowano zależność spadku oporności od stopnia okruszcowania siarczkami metali (głównie mineralizacji pirytowej) impregnującej określone pakiety łupków ($\rho_k = 500-800$ omm).

2. **Metoda PS.** W rejonie Gierczyna i Krobicy już w latach 1955–59 wykonano szczegółowe pomiary metodą potencjałów własnych Ziemi, które wykazały obecność dość intensywnych anomalii o spadkach wartości ΔV dochodzących lokalnie do -300 mV. Anomalie takie obserwowane są na złożach cynowo-polimetalicznych, dla których charakterystyczna jest koncentracja minerałów siarczkowych w poziomach przypowierzchniowych (formacja nadintruzywna).

Przestrzenny rozkład zarejestrowanych wartości PS opracowany przez S. Rulską przytoczono na ryc. 8.

3. **Badania elektromagnetyczne.** Obecność stref okruszczonych w obrębie łupków izerskich potwierdzono w efekcie badań elektromagnetycznych metodami: Slingram, Turam i VLF. Metody te pozwalają lokalizować obecność bogatych stref zmineralizowanych, o wysokiej przewodności elektronowej, występujące na niezbyt dużej głębokości. Indykacje zarejestrowane w rejonie Czerniawy Zdroju i Krobicy wykazują dużą zmienność w rozkładzie poziomym, co potwierdza fakt, iż występująca tam mineralizacja jest bardzo zmienna zarówno co do koncentracji, jak i formy przestrzennej.



Ryc. 11. Zestawienie wyników pomiarów atmogeochemicznych (oznaczenia Zn, Fe, Cu, Sn, Pb) z wynikami badań metodą polaryzacji wzbudzonej; profil nr 1 rejon Krobica (wg S. Rulskiego i B. Krčmařa)

Fig. 11. Comparison of results of atmogeochemical measurements (identifications of Zn, Fe, Cu, Sn and Pb) and results of studies by the induced polarity method: profile no. 1 – Krobica region (after S. Rulski and B. Krčmař)

CH, CH-0, CH-1, CH-2 – krzywe wartości współczynnika polaryzacji wzbudzonej, AB = 900 m, czas ładowania = 2 s, czas opóźnień = 0,2 s; Zn, Fe, Cu, Sn, Pb – zawartość związków wymienionych metali w $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gazów glebowych

CH, CH-0, CH-1, CH-2 – curves of values of induced polarity coefficient, AB = 900 m, time of charging = 2 s, time of delay = 0.2 s; Zn, Fe, Cu, Sn and Pb – content of compounds of a given metal in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of soil gases

4. Metoda polaryzacji wzbudzonej (PW). Zastosowanie tej metody dostarczyło najwięcej istotnych danych odnośnie do mineralizacji występującej w obrębie łupków izerskich. Metoda ta pozwala wykryć zarówno mineralizację typu impregnacyjnego, jak i zwarte żyłowe ciała rudne. Przystępując do prac poszukiwawczych zdawano sobie sprawę, że również za pomocą metody PW nie będzie można zlokalizować bezpośrednio stref anomalnych wywołanych obecnością mineralizacji kasyterytowej, jeżeli nie towarzyszy jej siarczkowa mineralizacja polimetaliczna. Wskazanie stref anomalnych wywołanych obecnością mineralizacji polimetalicznej występującej w parageniezie z cyną prowadziło pośrednio do pomyślnego rozwiązania zadania.

W efekcie pomiarów PW w obrębie wychodni łupków łyszczykowych (izerskich) zlokalizowano bardzo wyraźną strefę anomalną współczynnika polaryzacji o wartości η_k dochodzących do kilkunastu procent, przy tle ok. 1%.

Przebieg tej strefy prześlędzono od Gierczyna aż po granicę państwową.

Przebieg anomalii współczynnika polaryzacji wzbudzonej w rejonie Krobicy i Czerniawy Źródź przedstawiono na tle mapy geologicznej wg M. Szalamachowej (ryc. 9). Anomalia ta wiąże się z okruszczowanymi pakietami łupków chlorytowo-łyszczykowo-kwarcowych z poziomem litofacjalnym typowym dla koncentracji kasyterytu lub z łupkami łyszczykowo-chlorytowo-kwarcowymi ze skałeniami i porfiroblastami granatów.

Rozwijane aktualnie w metodzie PW metody interpretacji wskazują, że efekt polaryzacji wzbudzonej (jak udowodniono to w wyniku badań modelowych) zależy od czterech parametrów: R_0 , m , τ , c . Z tego m – teoretyczny współczynnik polaryzacji i τ – stała czasowa szczególnie wyraźnie reagują na obecność i zmiany koncentracji oraz wymiary ziarn (kryształów) minerałów o przewodności elektronicznej (10).

Nazwa wiercenia i przebadana głębokość	Ilość próbek	$In, 4\pi \cdot 10^{-10} T$		$\kappa k, 4\pi \cdot 10^{-6} SI$		$Q = \frac{In}{0,5} \kappa$	
		śr.	min max	śr.	min max	śr.	min max
KI/1 6,0–194,0 m	108	252,4	0,02 6263,4	85	0 1215	3,54	0 34,48
KI/2 16,5–284,5 m	74	251,6	0,05 3821,0	126	0 1377	2,62	0,01 43,32

C. Metoda magnetyczna. Z anomalią PW pokrywa się anomalia magnetyczna. Jest ona wywołana obecnością minerałów podatnych magnetycznie, głównie pirotynu. Może być ona również oddźwiękiem żył bazaltowych i amfibolitów. Lokalizację ekstremów anomalii magnetycznej przedstawiono na ryc. 9.

D. Spektrometria gamma. W efekcie pomiarów spektrometrycznych naturalnego promieniowania gamma skartowano wychodnie łupków łyszczykowych na odcinku Krobica–granica państwowa. Dane otrzymane z prac polowych po przeliczeniu na czas równy 1 min. zostały zakodowane i przetworzone na komputerze według procedury uwzględniającej wpływ toru na kanał uranu i potasu oraz uranu na kanał toru. Następnie dane uzyskane z poszczególnych kanałów przeliczono na jednostki znormalizowane. Średnia wartość całkowitego natężenia promieniowania gamma w badanym rejonie wyniosła ok. 0,5 pA/kg.

W rozkładzie pierwiastków promieniotwórczych nie daje się zauważyć wyraźnych zależności od budowy złoża, zwłaszcza dotyczy to potasu, w którym to przypadku przy niskiej jego zawartości (co powoduje małą dokładność pomiaru), nie można ściśle przyporządkować zarejestrowanych stref poszczególnym horyzontom geologicznym.

Zarejestrowane zawartości K znajdują się w przedziale 0,5–2,5%. Ogólnie można stwierdzić podwyższenie zawartości K w obrębie łupków łyszczykowych i nieznaczne spadki nad wychodniami granitognejsów. W trakcie badań miano nadzieję, że chlorytacja towarzysząca strefom o podwyższonej koncentracji kasyterytu znajdzie swoje odbicie w wyniku pomiarów. Zależności takiej nie zarejestrowano, co może być uzasadnione tym, że ta odmiana chlorytów jest bardzo wzbogacona w SiO_2 i Al_2O_3 oraz FeO, przy bardzo niskiej zawartości K_2O .

W rozkładzie zawartości toru na przebadanym obszarze występuje wyraźna dwudzielność anomalii. Jedna ze stref zawartości powyżej 6 ppm wiąże się z przebiegiem strefy anomalnej wykrytej w efekcie pomiarów PW i magnetycznych. Druga strefa anomalna związana jest podobnie jak w przypadku rozkładu całkowitego natężenia promieniowania gamma z przewarstwieniami gnejsów. „Anomalie” te nie lokalizują jednak właściwych granic tych przewarstwień.

W rejonach zdyslokowanych obserwuje się skomplikowany charakter rozkładu izolinii zawartości toru, podkreślający złożoność tektoniki tego rejonu.

E. Merkurometria. Omawiany rejon charakteryzuje się podwyższonymi zawartościami par rtęci w glebie, jednak ściśle przyporządkowanie anomalii merkurometrycznej strefie zmineralizowanej nie jest jednoznaczne. Bardziej jednoznacznie zaznaczają się w wynikach pomiarów merkurometrycznych dyslokacje i strefy tektoniczne (ryc. 10).

F. Pomiary atmogeochemiczne. W rejonie Krobicy przeprowadzono pierwsze w Polsce badania eksperymentalne śladowych zawartości związków metali w gazach glebowych, w ich efekcie można było wykryć w nich obecność i określić zawartość takich pierwiastków, jak: Pb, Sn, Zn, Fe i Cu. Na ryc. 11 przedstawiono wykresy zawartości tych pierwiastków w 1 m³ wypompowanego powietrza na tle wykresu pomiarów współczynnika polaryzacji wzbudzonej. Wyniki tych pomiarów sugerują, iż mineralizacja polimetaliczna w rejonie Krobicy obejmuje znacznie szerszy pakiet łupków, a jej centrum lokalizuje się na S od wykrytych przez M. Szałamachową wychodni złóżowych Sn.

G. Badania laboratoryjne właściwości magnetycznych skał. Dysponując dostępem do rdzeni wierceń geologicznych wykonanych w rejonie Krobicy, w celu rozpoznania przyczyny anomalii magnetycznej, wykonane zostały przez K. Mizeracką w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych badania laboratoryjne właściwości magnetycznych przewierconych skał. Objęły one pomiary podatności magnetycznej κ , natężenia In , i inklinacji (γ), naturalnej pozostałości magnetycznej skał z wierceń KI-1 i KI-2. Z danych tych wyliczono współczynnik Koenigsbergera $Q = \frac{In}{\kappa \cdot 0,5}$. Przeprowadzono również badania sta-

bilności magnetycznej, a ponadto określono punkt Curie minerałów magnetycznych będących nośnikami naturalnej pozostałości magnetycznej. Badanymi skałami były łupki łyszczykowo-chlorytowo-kwarcowe z mineralizacją i gnejsy. Średnie arytmetyczne oraz przedziały zmienności pomierzonych parametrów podano w tabeli.

Wg K. Mizerackiej histogramy wartości In wskazują na występowanie dwu maksimów: jedno występujące w przedziale $(0,1–0,5) \cdot 4\pi \cdot 10^{-10} T$ wyznaczone jest przez 25% próbek, drugie w przedziale $(10–500) \cdot 4\pi \cdot 10^{-10} T$ wyznaczone jest przez ok. 42% próbek. Podwójne maksimum występuje również w rozkładzie wartości współczynnika Q : jedno maksimum w przedziale $(0,01–0,05)$ określone jest przez 25,5% próbek i drugie w przedziale $(1–5)$ określone przez 29,4% próbek.

Podwyższone wartości naturalnej pozostałości magnetycznej i współczynnika Q badanych skał spowodowane są głównie mineralizacją pirotynową. Zestawiając wyniki pomiarów In i Q z profilem litologicznym zauważono, że okruszcowanie pirotynem i innymi siarczkami przeważnie występuje w łupkach łyszczykowo-chlorytowo-kwarcowych oraz w niektórych gnejsach, przy czym w dolnych partiach rdzenia zawartość pirotynu jest wyższa niż w górnych.

Pirotyny przedstawiają szereg minerałów, skład których zawarty jest pomiędzy FeS (triolitem) i FeS₂ (pirytem). Ogólny wzór pirotynu zapisuje się w postaci FeS_{1+x}. Za-

leżnie od składu (przy zmiennej zawartości żelaza) pirotyny zmieniają stan magnetyczny z antyferromagnetycznego na ferromagnetyczny i odpowiednio do tego zmieniają właściwości magnetyczne. Pirotyny heksagonalne (niemagnetyczne) posiadają punkt Curie 325°C, jednoskośne (magnetyczne) około 350°C. Pirotyny te różnią się również siłą koercji. Na podstawie właściwości magnetycznych pirotynow niektórzy badacze określają ich skład, dolną granicę temperatur metamorfizmu, kolejność procesów metamorficznych itp.

W przypadku badanych skał z otworów KI/1 i KI/2 krzywe termooanalizy wskazują na występowanie pirotynow ferromagnetycznych z temperaturą Curie 350°C oraz pirotynow typu λ z temperaturą Curie 250°C. Potwierdzają to również krzywe rozmagnesowania termicznego, wskazujące również, iż oprócz pirotynow występują inne niemagnetyczne siarczki żelaza. Naturalna pozostałość magnetyczna spowodowana zawartością pirotynow jest niestabilna w odniesieniu do zmiennego pola magnetycznego (dla niektórych próbek skał w polach 50 Oe pozostaje tylko 10–30% początkowej wartości I_n , a dla innych próbek w polach 100 Oe pozostaje 40–50% początkowej wartości I_n).

Podczas rozmagnesowania termicznego w temp. 200–250°C próbki rozmagnesowują się do wartości $\frac{I_n}{I_0} = 0,1-0,5$, a przy dalszym wzroście temperatury następuje znaczny wzrost naturalnej pozostałości magnetycznej. Wzrost ten tłumaczy się powstawaniem magnetytu z pirotynu i pirotynu z piryty lub chalkopiryty. Zmiany naturalnej pozostałości magnetycznej ze wzrostem temperatury oraz powstanie termicznej pozostałości magnetycznej wskazywać mogą, iż naturalna pozostałość magnetyczna tych skał powstała w temperaturach niższych od punktu Curie pirotynu, tj. poniżej 350°C, chociaż duże wartości współczynnika Q niektórych próbek mogłyby sugerować, że naturalna pozostałość magnetyczna jest pochodzenia termicznego i powstała w wysokich temperaturach.

Wartości współczynnika Q zmieniające się od 1 do 10 rejestrowane były w trakcie badań pirotynow jednoskośnych przez S. Brocką (2). Duże wartości Q (do 50) charakterystyczne są również dla kasyterytów. Właściwości magnetyczne kasyterytów (SnO_2), których punkt Curie wynosi 525°C, najprawdopodobniej wywołane są wtrąceniami żelaza (magnetytu) i różnią się od właściwości magnetycznych badanych łupków, gdzie nośnikiem namagnesowania są pirotyny. Naturalna pozostałość magnetyczna kasyterytów charakteryzuje się dużą stabilnością magnetyczną w odniesieniu do temperatury i zmiennego pola magnetycznego. Wobec dominujących właściwości magnetycznych pirotynow występujących w badanych łupkach trudno jest ustalić występowanie w nich kasyterytów, zwłaszcza jeżeli nie zawierają magnetytu.

ZAKOŃCZENIE

Jak zaznaczono wcześniej charakter złoża cyny w rejonie Krobicy i Gierczyna nie w pełni odpowiada przykładom podanym w pierwszej części artykułu, tj. w rozdziale omawiającym model geologiczny złóż cyny. Podane tam przykłady dotyczą złóż zakrytych, natomiast w rejonie Krobicy i Gierczyna występuje złożo odkryte, stąd też wyniki geofizyczne tam uzyskane mogą się różnić od wyników uzyskanych nad złożami zakrytymi. Pomimo tych zastrzeżeń porównanie wyników badań geofizycznych z rejonu Gór Izerskich z wynikami uznanymi jako reguła w różnych rejonach Azji i Europy, wykazuje bardzo dużą zbieżność. Dotyczy to wszystkich niemal metod geofizycznych, jedy-

nie rozkładu pierwiastków promieniotwórczych nie można uznać za zgodny z przyjętym modelem.

Omówiony w artykule model geologiczno-fizyczny wiąże złoża cyny z batolitami granitowymi. Również w przypadku Gierczyna i Krobicy część geologów skłonna jest wiązać okruszcowanie z waryscyjską intruzją granitu Karkonoszy, przytaczając przypadki złóż hydrotermalnych oddalonych od źródła hydroterm nawet o kilkanaście kilometrów. W tym ujęciu złożo cyny w rejonie Gierczyna i Krobicy w sensie mineralogicznym jak już wyżej przedstawiono znajduje swoje odpowiedniki w innych rejonach świata. Pozycję tego złoża w ogólnym schemacie geologicznym Sudetów, w powiązaniu z batolitem granitowym Karkonoszy, można również uznać za prawidłową, mimo że wiele elementów geologicznych istotnych dla skonstruowanego modelu geologicznego w tym złożu nie występuje.

Na obecnym etapie rozpoznania przy poszukiwaniu złóż cyny w Sudetach należy preferować następujące metody geofizyczne: metodę polaryzacji wzbudzonej w powiązaniu z profilowaniem elektrooporowym, metodę potencjałów spontanicznych, metody elektromagnetyczne (VLF, Turam) metodą magnetyczną oraz grawimetrię. Niezmiernie ważne są również badania geochemiczne oraz pomiary parametrów fizycznych.

LITERATURA

1. Antipow W.S. – Zonalność fizycznych pól jako osnowa prognostowania ołoworudnych miastoroźdeni Primoria. 1976.
2. Brocka S. i in. – Magitnyje swojstwa pirotynow i usłowija formirowanija Hołodinskowo miastoroźdenija. Fizika Ziemi 1976 nr 6.
3. Chilińska H., Sałaciński R. – Cynonośność łupków izerskich i uwagi o kierunkach dalszych prac poszukiwawczych. Arch. IG 1964 r.
4. Fedak J., Lindner M. – Metalogeneza Sudetów. 1966.
5. Jaskólski S., Mochnacka K. – Złożo cyny w Gierczynie w Górach Izerskich na Dolnym Śląsku i próba wyjaśnienia jego genezy. Arch. Miner. 1958 z. 1.
6. Konstantynowicz E. – Problem cynonośności łupków kwarcowo-serycytowych z chlorytem w rejonie Gierczyna – Przeczniczy. Rudy i Met. Nieżel. 1957 nr 3.
7. Królikowski C., Rokicki J., Rulski S., Wybraniec S. – Kompleksowe badania geofizyczne stosowane przy poszukiwaniu złóż surowców mineralnych stałych (na przykładzie wybranych regionów Polski). IG – Instr. i Met. Bad. Geol. 1980 z. 42.
8. Miszin L.T. – Poiski skrytych miastoroźdenii ołowa na osnowie nowych razrabotok (dokład na raboczem sowieszczanii specjalistow stran-czlenow SEW po problemie 17).
9. Miszin L.T., Latikajnen B.J. i in. – Geofiziceskije issledowanija pri poiskach i ocenke skrytych miastoroźdenii ołowa. Moskwa 1979.
10. Pelton W.H. i in. – Mineral Discrimination and Removal of inductive coupling with multifrequency IP. Geophysics 1978 vol. 3.
11. Parasnis D.S. – Mining Geophysics. 1966.
12. Rulska S.T. – Analiza wyników badań geoelektrycznych – temat Świeradów Źródł 1969 r. Arch. PBG.
13. Rulski S. – Zastosowanie aparatury Turam do poszukiwania złóż rud polimetali na wybranych obiektach.

tach geologicznych w Sudetach. Biul. Inf. Geofizyka 1975.

14. Rulski S., Wybraniec S., Rokicki J. – Wytyczne zastosowania metody polaryzacji wzbudzonej w domenie czasu przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż rud metali. Arch. IG 1978.
15. Rulski S. – Sprawozdanie z realizacji tematu prac postępu technicznego 106.10. „Opracowanie metodyki pomiarów wieloelementowej analizy śladowych zawartości związków metali w gazach glebowych”. Arch. PBG 1980.
16. Szalamacha M. – Dokumentacja geologiczna złoża rud cyny Krobica. Arch. IG 1978.

SUMMARY

The growth in world's demand for tin and real possibilities of discovery and demonstration of new tin deposits in area of Poland draw more attention to the use of geophysical surveys in search for tin. The use and development of geophysical methods aimed at search of tin deposits was also the subject of international research project carried out within the frame of the COMECON Permanent Geological Commission. From the Polish side, the Enterprise of Geophysical Surveys (PBG) was taking part in works of that project. In Poland, there is noted the lack of joint geological-geophysical analyses which would both precede and close search and measuring of deposits of some mineral raw materials. The lack may be due to organization of the geological survey different than in other COMECON countries.

The paper presents new comprehensive solutions currently used in search for tin deposits. The solutions involve

construction of physical-geological model of tin ore deposit fields and the use of regularities of its zonal structure to establish perspectives of mineralization. There are also discussed some aspects of geophysical surveys connected with search and measurement of tin ore deposits in Poland.

РЕЗЮМЕ

Увеличение мирового затребования на оловянную руду, а также реальные возможности открытия и документирования новых месторождений на территории Польши, вызвали увеличение заинтересованности применением геофизических исследований для этой цели.

Вопрос применения и развития геофизических методов для поисков оловянных месторождений рассуждался также в рамках международного сотрудничества — в работах постоянной Геологической Комиссии СЭВ, в которых Польша также принимала участие (Предприятие Геофизических Исследований). По поводу разной чем в большинстве стран-членов СЭВ организации геологической службы в Польше выступает недостаток общих геолого-геофизических анализов, опрежающих и заканчивающих поиски и разведку определённого скального сырья.

В настоящей статье представлены новые, комплексные решения применяемые современно в поисках оловянных месторождений. Они заключаются в постройке физико-геологической модели рудных областей и в использовании закономерностей в её зональном строении для определения прогноз оруденения. Рассмотрены также некоторые аспекты геофизических исследований связанных с поисками и разведкой месторождений оловянных руд в Польше.