

Henryk KURBIEL, Jacek SIEMIĄTKOWSKI, Marian SUBIETA

Wyniki badań geofizyczno-geologicznych w rejonie Suwałk

Przedstawiono przebieg badań geologicznych w północno-wschodniej Polsce, które doprowadziły do odkrycia złóż rud żelaza, tytanu i wanadu, oraz wykazano przydatność metod geofizycznych w poszukiwaniach tych złóż. Podano charakterystykę mineralogiczną oraz geologiczną złóż: Krzemianka, Jeleniewo i Udryń.

WSTĘP

W roku 1957 odwiercono w regionie suwalskim otwór Szlinokiemie (Suwałki IG 1), zlokalizowany w obszarze ujemnej anomalii magnetycznej i grawimetrycznej (J. Znosko, 1958). W otworze tym po przebicciu ok. 800 m pokrywy osadowej napotkano prekambryjskie, zasadowe skały krystaliczne — anortozyty. Odkrycie to miało bardzo duże znaczenie, ponieważ ze skałami zasadowymi tego typu w różnych regionach świata związane są często bogate rudy tlenków żelaza, tytanu, wanadu i siarczków. Wyniki badań profilu Szlinokiemie stały się bodźcem do rozpoczęcia w północno-wschodniej Polsce intensywnych, systematycznych i zakrojonych na szeroką skalę kompleksowych badań geologiczno-regionalnych oraz poszukiwań złóż rud metali przy zastosowaniu różnorodnych metod geofizycznych oraz wierceń badawczo-poszukiwawczych.

Do chwili obecnej suwalska makrostruktura anortozytowa rozpoznana jest licznymi otworami wiertniczymi. Większość z nich zgrupowana jest w rejonie Krzemianki i Udrynia. Wiercenia te w nawiązaniu do szczegółowego zdjęcia magnetyczno-grawimetrycznego pozwoliły sporządzić odkrytą mapę geologiczną (fig. 1). Makrostruktura suwalska, o powierzchni ok. 300 km², zbudowana jest z anortozytów, norytów, diorytów oraz ich odmian przejściowych (O. Juskowiak, 1971, 1973). Wchodzi ona w skład mazurskiego kompleksu metamorficzno-magmowego i wykazuje przestrzenny związek z granitoidami rapakiwipodobnymi. Wiek bez-

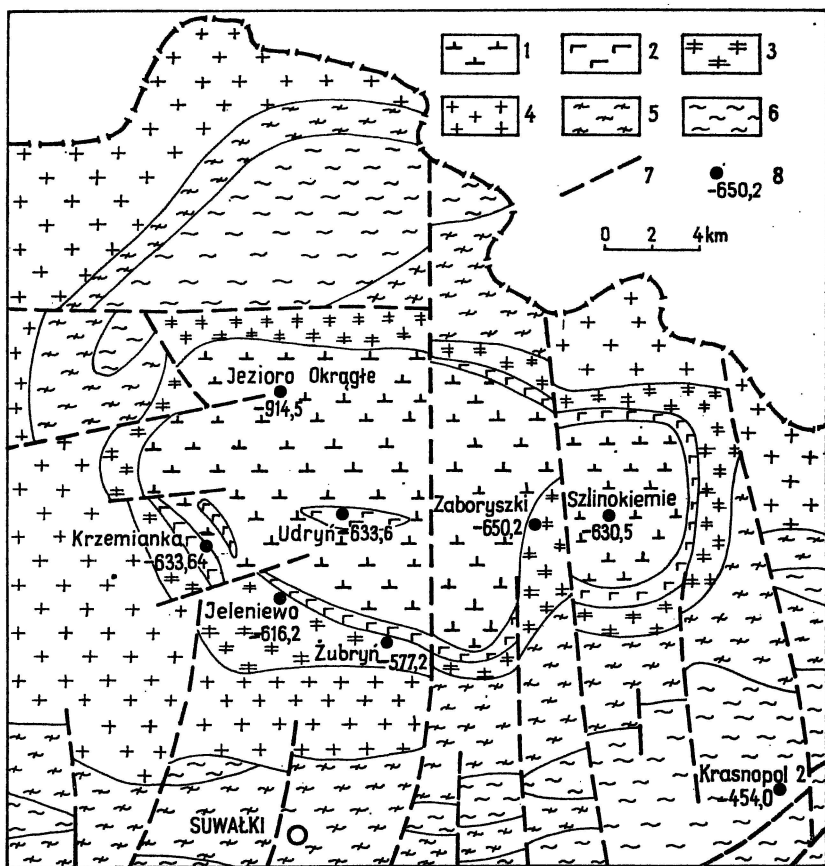


Fig. 1. Mapa geologiczna masywu suwalskiego i jego otoczenia (według K. Karaczuna, S. Kubickiego, W. Ryki, 1972)

Geological map of the Suwałki massif and its neighbourhood (after K. Karaczun, S. Kubicki, W. Ryka, 1972)

1 — anortozyty; 2 — noryty; 3 — dioryty; 4 — granitoidy rapakiviopodobne; 5 — granitognejsy; 6 — gnejsy; 7 — strefy nieciągłości; 8 — otwory wiertnicze i głębokości stropu krystaliniku w m n.p.m.

1 — anorthosites; 2 — norites; 3 — diorites; 4 — rapakivi-like granitoids; 5 — granitogneisses; 6 — gneisses; 7 — discontinuities; 8 — boreholes and depth of the top of crystalline basement (in m b.s.l.).

względny tego kompleksu określony metodą K/Ar wynosi 1350—1450 mln lat (T. Depciuch, J. Lis, H. Sylwestrzak, 1975).

Dominującym typem skał są anortozyty, z których zbudowana jest centralna część masywu. Są to skały szare o strukturze grubo- i wielkoziarnistej i teksturze bezładnej. Głównym składnikiem jest plagioklaz (80—95% obj.), reprezentujący kwaśny labrador z przejściem do andezynu. Podrzędnie i akcesorycznie występują: augit diopsydowy, hipersten, myrmekit i skałen potasowy, magnetyt, hemo-ilmenit, siarczki oraz apatyt, amfibol, biotyt, chloryt i kalcyt.

Noryty i podrzędnie gabronoryty poza obszarami anomalii Udrynia

występują w brzeżnej strefie masywu. Są to skały średnio- i gruboziarniste zwykle o teksturze ukierunkowanej. Głównymi ich składnikami są plagioklasy, o podobnym składzie jak w anortozytach, i pirokseny — głównie hipersten oraz podrzędnie augit i diallag. Pozostałe minerały są podobne jak w anortozytach, przy czym charakterystyczna jest duża zmienność składu mineralnego w skałach przejściowych od anortozytów (leukonoryty) do rud (noryty ilmenitowo-magnetytowe, w których znaczną rolę odgrywają minerały kruszcowe).

Rudy ilmenitowo-magnetytowe występują zazwyczaj w strefach ząbienia się norytów z anortozytami i grupują się w kilku obiektach anomalii geofizycznych, z których największe są anomalie Krzemianki i Udrynia. Są to skały o zróżnicowanych proporcjach minerałów kruszczowych i krzemianów (plagioklasy, pirokseny). Odnaczają się wyraźną przewagą tytanonośnego magnetytu nad ilmenitem, przy czym ta przewaga jest znaczna w rudach bogatych. W tych ostatnich charakterystycznym składnikiem jest zielony spinel. Tlenkom towarzyszą akcesoryczne siarczki.

Marginalną strefę kompleksu anortozytowego lub jego osłonę stanowią leukogabra — dioryty.

Skały makrostruktury suwalskiej przecinają granitoidy żyłowe (pegmatyty, mikrogranity i mikrogranodioryty).

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

W rozpoznaniu budowy geologicznej podłoża krystalicznego północno-wschodniej Polski ważną rolę odegrały badania geofizyczne. Ponieważ penetracja wiertnicza podłoża krystalicznego tego rejonu jest bardzo kosztowna ze względu na dużą miąższość pokrywy osadowej, położono nacisk na metody pośrednie, a mianowicie naziemne zdjęcia geofizyczne. Zastosowanie metody magnetycznej i grawimetrycznej miało pełne uzasadnienie, ponieważ skały podłoża krystalicznego wykazują wyraźne zróżnicowanie pod względem namagnesowania i gęstości.

Lokalne anomalie magnetyczne i grawimetryczne, zarejestrowane zdjęciami regionalnymi, zostały dokładniej rozpoznane w 1961 r. półszczegółowym zdjęciem magnetycznym i szczegółowymi pomiarami profilowymi.

Analiza materiałów geofizycznych przeprowadzona przez J. Skorupę w nawiązaniu do wyników z otworu Szlinokiemie pozwoliła ustalić, że nawiercone w tym otworze anortozyty stanowią dość rozległy masyw o długości ok. 22 km w kierunku równoleżnikowym i szerokości do 10 km.

W latach 1961—1962 po dalszej analizie materiałów geofizycznych (J. Skorupa, 1961) przystąpiono pod kierunkiem J. Znoski do wierceń w obszarach lokalnych dodatnich anomalii magnetycznych (Krzemianka i Udryn), w obrębie których pod ok. 850 m nadkładem osadów triasu, jury, kredy, trzeciorzędu i czwartorzędu odkryto rudy ilmenitowo-magnetytowe, związane genetycznie z suwalskim masywem zasadowym. Odkrycie tych rud spowodowało intensyfikację badań tego re-

gionu, przy czym prowadzone były zarówno badania geofizyczne, jak i geologiczno-wiertnicze. W pierwszej kolejności wykonano szczegółowe zdjęcia magnetyczne i półszczełowe zdjęcia grawimetryczne obejmujące obszary anomalii Krzemianki, Udrynia i Jeleniewa. W następnym etapie wykonano uzupełniające, profilowe pomiary magnetyczne i grawimetryczne.

Celem badań geofizycznych było poznanie budowy geologicznej regionu suwalskiego, wyjaśnienie dalszych perspektyw surowcowych oraz umożliwienie najbardziej racjonalnej lokalizacji rozpoznawczych otworów wiertniczych.

Na podstawie szczegółowego zdjęcia magnetycznego wykonana została interpretacja anomalii Krzemianki, Udrynia i Jeleniewa. Główny nacisk położono na interpretację jakościową, gdyż interpretacja ilościowa była utrudniona skomplikowanym obrazem anomalnym i wiążącą się z nim skomplikowaną budową geologiczną. W wyniku interpretacji jakościowej wyróżnione zostały obszary anomalne z utworami podłoża krystalicznego o bardzo dużym namagnesowaniu. Kontury tych obszarów zostały ustalone na podstawie uśrednienia granic uzyskanych na kilkunastu mapach anomalii pierwszych i drugich pochodnych oraz anomalii przeliczonych na niższe poziomy, z zastosowaniem różnych metod.

Największą powierzchnię spośród wydzielonych obszarów anomalnych zajmuje obszar anomalii Udrynia, który ma również największą amplitudę. Drugi pod tym względem jest północno-wschodni obszar anomalii Krzemianki, następnie południowo-zachodni obszar tej anomalii oraz obszar anomalii Jeleniewa. Drugoplanowymi są cztery mniejsze obszary anomalne o małych amplitudach (H. Kurbiel, 1975).

Analiza wyników wierceń oraz parametrów magnetycznych skał z rejonu Krzemianki wykazała, że lokalne anomalie wiążą się przede wszystkim ze skałami podłoża krystalicznego o bardzo dużym namagnesowaniu, tj. z rudami ilmenitowo-magnetytowymi o namagnesowaniu od 887 do $2280 \cdot 10^{-3}$ A/m, norytami rudnymi o namagnesowaniu do $1013 \cdot 10^{-3}$ A/m oraz anortozytami rudnymi o namagnesowaniu do $506 \cdot 10^{-3}$ A/m (K. Mizeracka, H. Kurbiel, 1975).

Należy przy tym uwzględnić fakt, że na wielkość lokalnych anomalii magnetycznych ma wpływ zarówno namagnesowanie indukcyjne, jak i namagnesowanie resztkowe skał, przy czym namagnesowanie resztkowe rudy ilmenitowo-magnetytowej jest ponad dwukrotnie większe od namagnesowania indukcyjnego. Kierunek namagnesowania resztkowego skał podłoża krystalicznego w rejonie Krzemianki jest, jak wykazały pomiary, zmienny. Odwrotny kierunek namagnesowania resztkowego w odniesieniu do kierunku namagnesowania indukcyjnego ma 30—70% rudy ilmenitowo-magnetytowej, a średnio 30% norytów i ok. 10% anortozytów. Na tej podstawie można przypuszczać, że w rejonie Krzemianki drugoplanowe obszary anomalne mogą odzwierciedlać znacznie większe masy utworów o dużym namagnesowaniu, niżby to wynikało z wielkości anomalii obserwowanych na powierzchni, pod warunkiem, że duży procent tych utworów ma odwrotny kierunek namagnesowania resztkowego.

Jak już wspomniano, na wielkość lokalnych anomalii magnetycznych w rejonie Krzemianki mają wpływ przede wszystkim rudy ilmenitowo-magnetytowe oraz noryty i anortozyty rudne. Ze względu jednak na

dość duże głębokości występowania utworów magnetycznie czynnych, nie można za pomocą metody magnetycznej wydzielić poszczególnych pakietów rudnych ani określić, w jakim stopniu anomalia magnetyczna jest wywołana przez ciała rudne, a w jakim przez noryto-anortozyty rudne. Mimo to, jak wykazała konfrontacja wyników wierceń i parametrów magnetycznych z wynikami interpretacji anomalii magnetycznych, między złożem a lokalnymi anomaliami magnetycznymi istnieje dość dobra korelacja. We wszystkich otworach zlokalizowanych w obszarach lokalnych anomalii magnetycznych rejonu Krzemianki, wykazujących duże amplitudy, nawiercono rudę ilmenitowo-magnetytową.

Związek między obrazem anomalii grawimetrycznych a złożem znacząco się mniej wyraźnie lub nie ujawnia się wcale. Z tego względu przy rozpoznawaniu geologiczno-geofizycznym anomalii Krzemianki uwzględniano głównie wyniki badań magnetycznych.

CHARAKTERYSTYKA MINERAŁÓW KRUSZCOWYCH

Minerały kruszcowe są stałym składnikiem skał masywu suwalskiego i reprezentowane są przez tlenki żelaza i tytanu oraz siarczki żelaza, miedzi i niklu. Zespoły tlenkowe stanowią tytanonośny i wanadonośny magnetyt oraz ilmenit wzbogacony w Fe_2O_3 ; towarzyszyć im może pleonast. W zależności od skały, w której się znajdują, tlenki przejawiają cechy indywidualne, będące wyrazem odmiennych warunków panujących w trakcie powstawania tych minerałów, a szczególnie prężności tlenu. Zespoły te mogą służyć jako termometry geologiczne. Temperatury rozdziału tytanu między magnetytem i ilmenitem dla skał masywu suwalskiego wynoszą od 700 do 575°C (S. Kubicki, J. Siemiątkowski, praca w druku). Jak na temperatury etapu magmowego i pomagmowego są one niskie, ale zakłada się, że znaczną rolę odegrały tu fluidy (mineralizatory), z których najważniejszymi były H_2S , H_2O i CO_2 . Świadczy o tym obecność siarczków, minerałów zawierających grupę OH (O. Juszkowiak, 1971) oraz grafitu (J. Siemiątkowski, 1976).

Siarczki pierwotne reprezentowane są głównie przez pirotyt, chalkopiryt, pentlandyt oraz podrzędnie kobaltonośny pentlandyt, kubanit i mackinawit. Siarczki wtórne stanowi powstający z pirotytu piryt lub markasyt i wypierający pentlandyt bravoit, a także bornit i chalkozyn. Zespoły siarczków świadczą o długotrwałej ewolucji temperatur w badanym masywie i o jego powolnym zastyganiu (S. Kubicki, J. Siemiątkowski, praca w druku).

Krótką charakterystyką minerałów kruszcowych w poszczególnych typach skał przedstawia się następująco:

Anortozyty. Minerały tlenkowe występują tu w dwu postaciach. Pierwsze reprezentowane są przez lamelki lub izometryczne wrostki w plagioklazach, prawidłowo zorientowane zgodnie z łupliwością kryształów. Są to wrostki magnetytu, hemo-ilmenitu bądź ilmeno-hematytu. Wrostki te powodują barwną iryzację kryształów widoczną na powierzchniach polerowanych. Podobne lamelkowe wrostki tlenków spotyka się w piroksenach. Drugą postać tlenków tworzą samodzielne ziarna bądź

ich zgrupowania o ksenomorficznym wykształceniu, tkwiące wśród plagioklazów. Tlenki te wykształcone są w dwóch typach. Magnetyt w obu typach zawiera mało faz obcych, natomiast ilmenit w jednym z typów posiada drobne soczewki hematytu tworząc hemo-ilmenity (zespół ten jest identyczny z zespołem norytowym), w drugim zaś — duże i liczne soczewki hematytu. Stosunek tych odmieszkań, a więc hematytu do ilmenitu, może sięgać 1:1; towarzyszyć im mogą lamelki magnetytu i spinelu otoczone zawsze fazą ilmenitową. Zespół ten nazywany został anortozytowym. W anortozytach dwa wymienione typy są zawsze akcesoryczne. Siarczki w zasadzie są nieliczne i reprezentowane głównie przez piryty i chalkopiryty. W rzadkich przypadkach anortozyty mogą zawierać większe skupienia minerałów kruszcowych w postaci szlir, gniazd i nieregularnych ciał rud masywnych. Cechą charakterystyczną jest równowaga lub nieznaczna przewaga magnetytu nad hemo-ilmenitem.

Rudy (ferrolity). Minerale tlenkowe występują tu w dwu zespołach różniących się ilością faz obcych w magnetycie i innym stosunkiem ilmenitu do magnetytu.

Pierwszy zespół zawiera wysokotytanowy magnetyt ze znaczną domieszką magnezu i glinu. Tytan występuje w licznych lub bardzo licznych lamelkach ilmenitowych powstałych po utlenieniu ulwitu, niekiedy z jego relikdami, czasami w postaci tylko siatki ulwitowej. Magnez i glin występują w soczewkach spineli o składzie pleonastu. Stosunek ilmenit:magnetyt wynosi w tej grupie 1:2,5—8,3. Badania geochemiczne (W. Szczepanowski, 1977) oraz analizy chemiczne (S. Kubicki, J. Siemiątkowski, praca w druku) świadczą, że magnetyty te zawierają TiO_2 3,0—8,2%, Al_2O_3 2,6—4,9% i MgO 0,49—1,75%. Ilmenity nie wykazują odmieszkań hematytu. Spotykane są w nich tylko niewielkie ilości Fe_2O_3 . Charakterystycznym minerałem w tym zespole jest ziarnisty pleonast, którego zawartość kształtuje się od kilku do kilkunastu procent. W tych rudach najpełniej widoczne są procesy deuteryczne — szczególnie reakcje między poszczególnymi minerałami, np. ilmenityzacja tytanonośnego magnetytu.

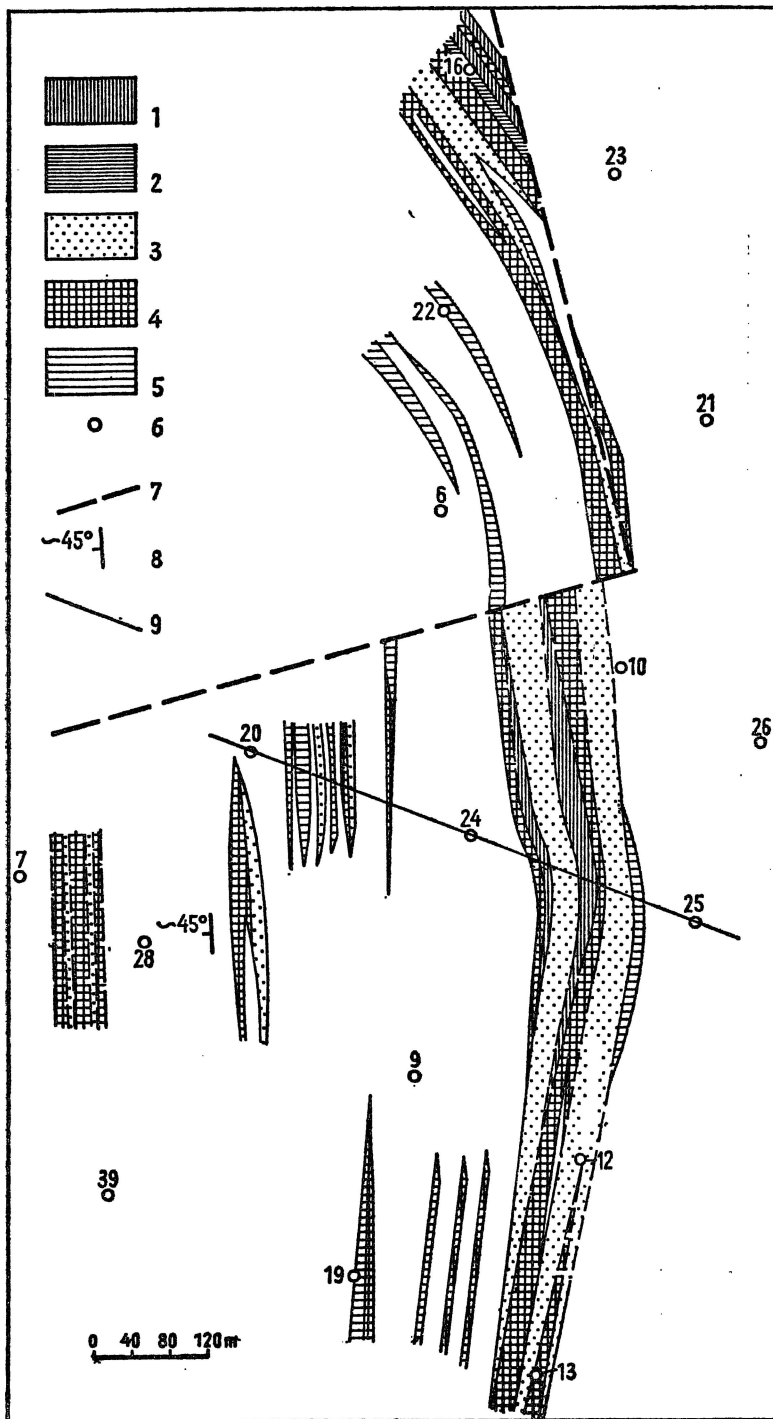
Drugi zespół minerałów tlenkowych typowych dla rud składa się z magnetytu o przeciętnej zawartości faz obcych. Stosunek ilmenit:magnetyt wynosi 1:2,2—3,5. Nośnikiem tytanu są lamelki ilmenitowe, zaś magnezu i glinu soczewki spinelowe. Zawartość TiO_2 w tych magnetytach wynosi 0,8—2,0%, Al_2O_3 1,9—2,9% i MgO 0,32—0,53%. Ilmenit z reguły nie wykazuje odmieszkań, ale ma podwyższoną zawartość Fe_2O_3 . W porównaniu z zespołem pierwszym jest tu wyraźnie mniejsza zawar-

Fig. 2. Mapa zróżnicowania rud ilmenitowo-magnetytowych pod względem zawartości TiO_2 w magnetycie na poziomie 1250 m p.p.m. w północno-wschodniej części złoża Krzemianka

Map of differentiation of ilmenite-magnetite ores in TiO_2 content in magnetite at 1250 m below sea level in north-eastern part of the Krzemianka deposit

Rudy o zawartości TiO_2 : 1 — bardzo wysokiej, 2 — wysokiej, 3 — umiarkowanej, 4 — niskiej; 5 — noryty i anortozyty rudne o niskiej zawartości TiO_2 ; 6 — otwory wiertnicze; 7 — uskoki przypuszczalne; 8 — kąty upadu; 9 — linia przekroju

Ores with TiO_2 content: 1 — very high, 2 — high, 3 — moderate, 4 — low; 5 — ore norites and anorthosites with low content of TiO_2 ; 6 — boreholes; 7 — inferred faults; 8 — dip of strata; 9 — line of cross-section



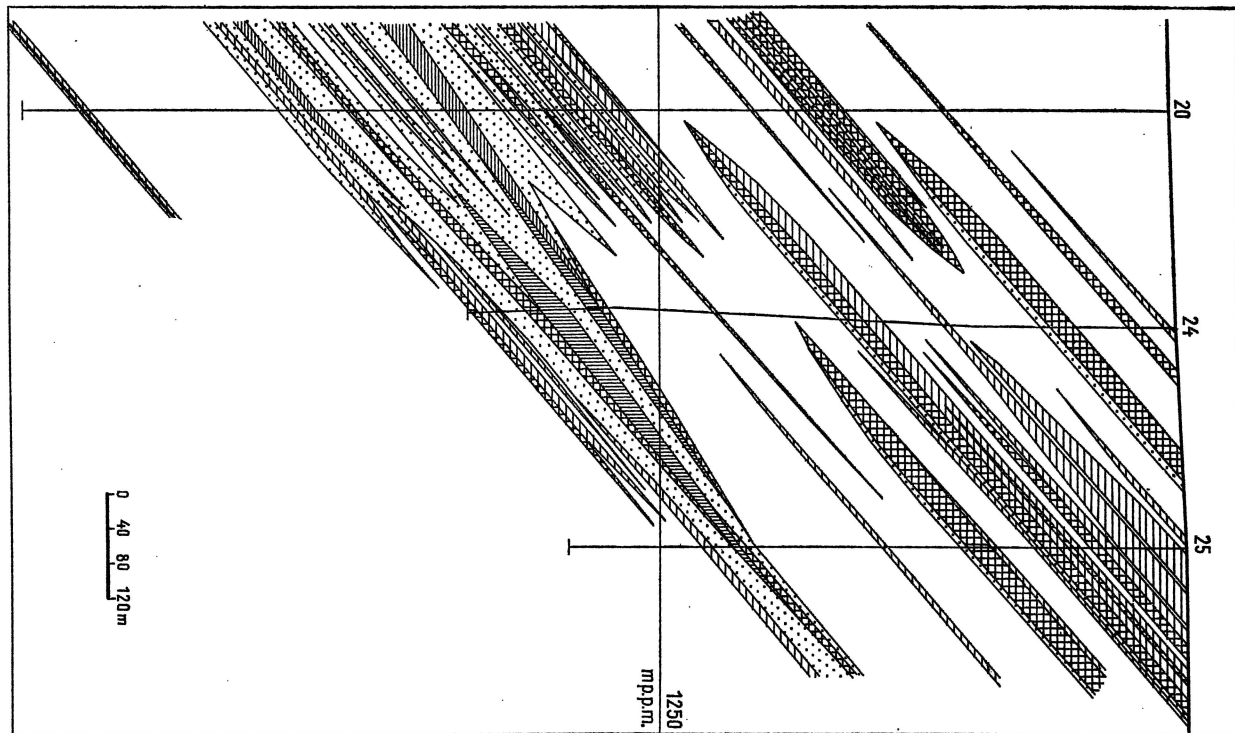


Fig. 3. Przekrój przez północno-wschodnią część złoża Krzemianka i zróżnicowanie rud ilmenitowo-magnetytowych pod względem zawartości TiO_2 w magnetycie

Section through north-eastern part of the Krzemianka deposit and differentiation of ilmenite-magnetite ores in TiO_2 content in magnetite

Objaśnienia jak na fig. 2

Explanations as given in Fig. 2

tość samodzielnego pleonastu, a nierzadko go brak. Zespoły te mogą występować również w norytach i gabro-norytach tkwiących w seriach rudnych oraz norytach rudnych.

Zróznicowanie zawartości TiO_2 w tytanonośnym magnetycie pozwoliło wydzielić dla celów technologicznych kilka gatunków rud. Wyniki badań mineralogiczno-chemicznych przedstawiono na odpowiednich przekrojach i mapach poziomów ilustrujących przestrzenną zmienność tego parametru okruszczenia (fig. 2 i 3).

Rudy z reguły mają podwyższoną zawartość siarczków (średnio do ok. 3⁰/₀ obj., a lokalnie do kilkunastu procent). Głównym siarczkiem jest niklonośny pirotyn wykształcony w niskotemperaturowych modyfikacjach o przewadze klinopirotynu nad pirotynem heksagonalnym. Towarzyszy mu kobaltośny pentlandyt w postaci samodzielnymi ziarn lub odmieszkań w pirotynie, chalkopiryt — często ujawniający zbliżnienia inwersyjne — i kulanit. Charakterystycznym minerałem niskotemperaturowym jest mackinawit. Z innych minerałów wymienić można nieliczny linneit i sfaleryt oraz wtórny piryt, markasyt, bravoit, bornit i chalkozyn.

Noryty i gabronoryty. Można w nich spotkać wszystkie pozostałe zespoły tlenkowe, ale typowy zespół składa się z magnetytu z niewielką ilością faz obcych, co znajduje wyraz w zawartości TiO_2 0,4—0,9⁰/₀, Al_2O_3 0,6—1,6⁰/₀ i MgO 0,5—0,46⁰/₀. Ilmenit wykazuje drobne odmieszkania w postaci soczewek hematytowych. Stosunek ilmenitu do magnetytu wynosi 1 : 0,9—2,9. Zespół ten można nazwać „zespołem norytowym”. Zawartość siarczków jest tu znacznie niższa niż w rudach. Są one reprezentowane przez wtórny piryt i relikty pirotynu, występujące z nim w różnych proporcjach, oraz chalkopiryt. W porównaniu do rud, zwłaszcza pierwszego zespołu, minerały kruszcowe w norytach i gabronorytach mają mniejsze średnice ziarn.

Leukogabra i dioryty mają ten sam typ okruszczenia co noryty, a więc jest to „zespół norytowy”. Zespół tlenkowy występuje we wspólnych ksenomorficznych zgrupowaniach wraz z innymi minerałami ciemnymi wśród plagioklazów. Stosunek ilmenitu do magnetytu kształtuje się podobnie dla obu typów skał i wynosi 1 : 1,2—1,8. Magnetyt jest minerałem jednorodnym, co najwyżej zawiera pojedyncze lamelki ilmenitu i drobne soczewki spineli widoczne nie we wszystkich kryształach. Odpowiada to zawartości TiO_2 0,4—0,9⁰/₀, Al_2O_3 0,6—1,4⁰/₀ i MgO 0,18—0,38⁰/₀. Siarczki prawie wyłącznie reprezentowane są przez nieliczny piryt i chalkopiryt. Tlenki niekiedy uległy utlenieniu: magnetyt do martytu, a ilmenit i hemo-ilmenit przez stadia pośrednie do leukoksenu.

UWAGI O GENEZIE

Wyniki dotychczasowych badań petrograficznych, mineralogicznych i geochemicznych wskazują na złożoną genezę i ewolucję substancji rudnej, co wiąże się przede wszystkim z genezą anortozytów (O. Juskowiak, 1971, 1973; W. Ryka, 1973, praca w druku). Ogólnie można założyć, że wyodrębnienie resztkowego stopu, wzbogaconego w składniki rudne i na-

syconego mineralizatorami, nastąpiło w wyniku dyferencjacji. W okruszcowaniu suwalskiego kompleksu anortozytowego wyróżnić można kilka stadiów, różniących się ilościowym i jakościowym składem mineralnym oraz wykształceniem minerałów kruszcowych (S. Kubicki, J. Siemiątkowski, 1973). Kolejne stadia charakteryzowały się zmniejszaniem zawartości minerałów płonnych. Wyrazem tej ewolucji była zmiana typu koncentracji minerałów kruszcowych i form ciał rudnych od mineralizacji rozproszonej poprzez soczewy i pseudopokłady rud ubogich i mieszanych do nieregularnych i żyłowych ciał rud bogatych.

Rozproszona mineralizacja akcesoryczna związana jest z procesami krystalizacji kompleksu anortozytowego, które charakteryzują się względną równowagą zawartości magnetytu i ilmenitu. Koezystencja hem-ilmenitu i magnetytu o niskiej zawartości TiO_2 wskazuje na stosunkowo niskie temperatury ich powstania i wyższą prężność tlenu.

W późniejszym etapie powstały koncentracje złożowe, których źródłem nie były bezpośrednio skały otaczające, aczkolwiek pochodzą one z tego samego macierzystego kompleksu. Stop rudny (krzemianowo-tlenkowy z siarczkami) został doprowadzony z głębszych partii masywu w strefy złuznień i przy wyraźnym oddziaływaniu czynnika dynamicznego uformowały się zgodne ciała rud ubogich (z piroksenami i plagioklazami) i mieszanych (ubogich ze szlirami, bogatszych z plagioklazami) w postaci dobrze ukierunkowanych równoległych soczew i pseudopokładów. W późniejszym okresie tworzyły się nieregularne ciała i żyły rud bogatych, zlokalizowane głównie w anortozytach. Procesy rozdzielania się stopu na fazy spinelowe (Mgt—Usp) i romboedryczne (Ilm—Hem) w rudach ubogich przebiegały stosunkowo spokojnie, natomiast w rudach bogatych relatywnie szybciej, w wyższych temperaturach i były dalekie od osiągnięcia równowagi. Obecność pirotynu oraz ulwitu w magnetycie świadczy, że rudy tworzyły się przy niższym potencjale chemicznym tlenu. Dalsza, ostateczna ewolucja substancji rudnej przebiegała pod wpływem procesów deuterycznych na ogół w warunkach spokojnych. Miały tu miejsce rozpad krysztalów mieszanych, inwersja i porządkowanie faz, reakcje między tlenkami (np. ilmenityzacja magnetytu) i siarczkami, sulfuryzacja, resorpcja i wypieranie minerałów rudnych przez minerały płonne oraz ich przeobrażenia. Obserwowane obecnie paragenezy siarczków zdeterminowane są niskimi temperaturami stygnącego masywu. Najwyższe zakresy temperatur wyznacza pentlandyt i inwersyjny chalkopiryt, pośrednie — niskotemperaturowe modyfikacje pirotynów i rombówy kubanit i najniższe — minerały niskotemperaturowe np. mackinawit.

ZŁOŻA ILMENITOWO-MAGNETYTOWE MASYWU SUWALSKIEGO

Złoża: Krzemianka, Jeleniewo i Udryń występują w południowo-zachodniej części masywu zasadowego. Zgrupowane są one na obszarze o powierzchni ok. 36 km², odległym o 11 km na północ od Suwałk. Złoże Krzemianka zbadane jest dość dokładnie, natomiast złoża Udryń i Jeleniewo tylko wstępnie.

Złoże Krzemianka składa się z części południowo-zachodniej

i północno-wschodniej (M. Subieta, 1966; R. Osika, M. Subieta, S. Smoleński, 1970). Część południowo-zachodnia zbudowana jest z szeregu równoległe ułożonych ciał rudnych w formie soczewek (żył, pseudopokładów), które mają rozciągłość S—N i zapadają pod kątem 45° ku zachodowi. Długość soczewek po rozciągłości dochodzi do 1800 m, a szerokość do 600 m. W stropie i spągu złoza, a także między ciałami rudnymi występują noryty, a lokalnie również anortozyty. Na zachód i południe od złoza rozprzestrzeniają się leukogabronoryty-dioryty, a na wschód — ogromne masy anortozytów. Pozłożowe dyslokacje dysjunktywne rozczłonkowały tę część złoza na szereg przemieszczonych w pionie bloków, co wyraża się przerwaniem ciągłości ciał rudnych.

W północno-wschodniej części złoza ciała rudne rozciągają się z południa ku północy. Mają one również formę soczewek ułożonych równoległe, które zapadają ku zachodowi pod kątem 45° . Tylko lokalnie niektóre ciała nachylone są bardziej łagodnie ($20\text{—}30^\circ$) lub bardziej stromo ($60\text{—}85^\circ$). Maksymalna długość soczewek po rozciągłości wynosi ponad 1800 m, a szerokość po upadzie 600—800 m (fig. 2).

W tej części złoza ciała rudne występują wśród anortozytów, natomiast noryty podrzędnie w formie soczewek zawsze w pobliżu ciał rudnych lub na ich przedłużeniu, co świadczy wyraźnie, że są one ściśle związane z rudą. Podobieństwo budowy obu części złoza Krzemianka sugeruje, że mogą one stanowić jedną całość rozdzieloną strefą dyslokacyjną (SE—NW) o dość znacznej amplitudzie (R. Osika, M. Subieta, S. Smoleński, 1970).

W obrębie całego złoza soczewki rudne łączą się miejscami w nabrzemia lub rozszczepiają na szereg soczewek cieńszych, często zanikają, a następnie znów się pojawiają. Wyklinowując się przechodzą w strefy cienkich szlir (żyłek) lub norytów. Kontakty między ciałami rudnymi i skałami otaczającymi oraz między różnymi gatunkami rud przeważnie są dość wyraźne. Miąższość soczewek waha się w szerokich granicach od ok. 3 m do ponad 120 m, przy czym zmienia się dość gwałtownie zarówno po upadzie, jak i po rozciągłości. Przeważająca część ciał rudnych (69%) ma stosunkowo niewielką miąższość (3—11 m), jednak największa masa rudy (66%) zawarta jest w ciałach o dużych lub ogromnych miąższościach, a w obrębie ciał o miąższości 3—11 m znajduje się tylko 34% rudy złoza, w tym w ciałach o miąższości do 5 m zaledwie 10%. Wskazuje to, że złoże Krzemianka ma nadzwyczaj korzystne warunki dla zastosowania najbardziej efektywnych, masowych systemów eksploatacji.

Maksymalna sumaryczna miąższość ciał rudnych w południowo-zachodniej części złoza wynosi 118 m. Zmniejsza się ono stopniowo zarówno po rozciągłości (ku południowi i północnemu zachodowi), jak i po upadzie. W północno-wschodniej części złoza maksymalna miąższość rudy wynosi 300 m, przy czym obserwuje się ogólną tendencję gwałtownego jej zwiększania ku zachodowi.

Wewnętrzna budowa ciał rudnych nie jest jednorodna. Składają się one z „przewarstwień” rud różnych gatunków od ubogich do bardzo bogatych oraz licznych cieńszych i grubszych przerostów (soczewek) anortozytów i norytów.

Zawartość żelaza w rudach waha się od 20 do 48% (średnio 27,9%)

Fe.). Oprócz żelaza rudy zawierają tytan (średnio 7,2% TiO_2) i wanad (średnio 0,3% V_2O_5). Między tymi składnikami w różnych gatunkach rudy istnieje ścisły dodatni związek korelacyjny, wyrażający się wzrostem zawartości żelaza wraz ze wzrostem zawartości tytanu i wanadu. Dodatni związek korelacyjny istnieje również między średnią zawartością składników użytecznych i sumaryczną miąższością rudy; wraz ze wzrostem miąższości wzrasta zawartość składników użytecznych.

Ustalone zasoby rudy złoża Krzemianka umożliwiły podjęcie badań i prac studialno-projektowych, prowadzonych przez placówki naukowo-badawcze i projektowe. Rudy złoża Krzemianka stanowią agregat, w skład którego wchodzi przede wszystkim wanado- i tytanonośny magnetyt, ilmenit i plagioklasy; w podrzędnej ilości występują pirokseny, siarczki i inne minerały. Zawartość poszczególnych składników jest bardzo zmienna w różnych częściach złoża i w różnych gatunkach rudy. Wysoka zawartość krzemionki w połączeniu z wysoką zawartością tytanu powoduje, że rudy te, jako kompleksowe, w stanie surowym nie nadają się do bezpośredniej przeróbki na surowkę w wielkim piecu. Jednak z uwagi na sprzyjające własności teksturalno-strukturalne, skład mineralny i zróżnicowanie minerałów pod względem własności fizycznych, stanowią one doskonały surowiec do produkcji koncentratu magnetytowego (o zawartości Fe 65%), ilmenitowego (o zawartości TiO_2 42%), siarczkowego (zawierającego nikiel, kobalt i miedź) oraz produktu wanadowego (o zawartości V_2O_5 98,8%).

Złoże Krzemianka przykryte jest 850—900 m płaszczem wodonośnych skał osadowych, co przy głębieniu szybów wymagać będzie stosowania specjalnych metod (zamrożenia górotworu). Będzie to jeden z najtrudniejszych problemów do rozwiązania podczas budowy kopalni. W obrębie podłoża krystalicznego istnieją natomiast nadzwyczaj dogodne warunki do głębienia szybów oraz budowy przekopów i komór, ponieważ zarówno rudy, jak i skały otaczające są bardzo zwarte.

Wstępna ocena surowcowo-technologiczno-ekonomiczna złoża Krzemianka wykazała, że najcenniejszym składnikiem odkrytych rud jest wanad, następnie magnetyt, ilmenit oraz koncentrat siarczkowy. Ponadto w czasie drażenia szybów, chodników i przekopów uzyska się ogromne masy materiału skalnego (anortozyty), który stanowi nadzwyczaj cenny surowiec budowlany i ozdobny.

Wszystkie koncentraty możliwe do uzyskania z rud złoża Krzemianka (magnetytowy, ilmenitowy, wanadowy), z wyjątkiem siarczkowego, są do Polski importowane. W przypadku eksploatacji złoża zapotrzebowanie na koncentrat magnetytowy byłoby pokryte częściowo, natomiast na ilmenitowy i wanadowy zaspokojone całkowicie. Jednocześnie znaczne nadwyżki tych surowców mogłyby stanowić cenne produkty eksportowe. Wanad odgrywa obecnie ogromną rolę w przemyśle wszystkich krajów rozwiniętych, przede wszystkim jako uszlachetniacz stali. Także metaliczny tytan znalazł zastosowanie po drugiej wojnie światowej dzięki szczególnie wysokim właściwościom technicznym. Jego niski ciężar właściwy w połączeniu z dużą wytrzymałością i antykorozyjnymi właściwościami stawia go w rzędzie najbardziej perspektywicznych metali współczesności.

Złoże Udryń i Jeleniewo zawierają rudy tego samego typu

co złoże Krzemianka, a ich budowa jest najprawdopodobniej zbliżona do budowy złoże Krzemianka, przy czym złoże Jeleniewo zapada pod kątem ok. 40° ku południowemu zachodowi, a złoże Udryń pod kątem 45° ku południowi i południowemu zachodowi. Na podstawie obrazu anomalii magnetycznej w konfrontacji z wynikami wierceń można sądzić, że złoże te, a szczególnie złoże Udryń, zawierają znaczne zasoby rudy. Przesłanki geofizyczno-geologiczne wskazują, że w innych częściach suwalskiego masywu zasadowego, a głównie w jego obrzeżeniu, mogą się znajdować dalsze złoże rud.

Zakład Geofizyki
Zakład Geologii Ziół Rud Metali
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 7 czerwca 1978 r.

PIŚMIENNICTWO

- DEPCIUCH T., LIS J., SYLWESTRZAK H. (1975) — Wiek izotopowy K/Ar skał podłoża krystalicznego północno-wschodniej Polski. *Kwart. Geol.*, **19**, p. 759—779, nr 4. Warszawa.
- JUSKOWIAK O. (1971) — Skały plutoniczne północno-wschodniej Polski. *Biul. Inst. Geol.*, **245**, p. 7—122. Warszawa.
- JUSKOWIAK O. (1973) — Skały plutoniczne. W: Skały platformy prekambryjskiej w Polsce, cz. 1. *Pr. Inst. Geol.*, **68**, p. 69—108. Warszawa.
- KUBICKI S., SIEMIĄTKOWSKI J. (1973) — Uwagi o okruszcowaniu. W: Skały platformy prekambryjskiej w Polsce, cz. 1. *Pr. Inst. Geol.*, **68**, p. 120—123. Warszawa.
- KUBICKI S., SIEMIĄTKOWSKI J. (w druku) — Mineralizacja kruszcowa suwalskiego masywu zasadowego. *Biul. Inst. Geol.*, **316**. Warszawa.
- KURBIEL H. (1975) — Wybrane zagadnienia badań magnetycznych i grawimetrycznych na przykładzie poszukiwań złóż surowców stałych w Sudetach i NE Polsce. *Kwart. Geol.*, **19**, p. 401—412, nr 2. Warszawa.
- MIZERACKA K., KURBIEL H. (1975) — Relation between Magnetic Properties and Mineral Composition of Rocks from the Suwałki Anorthosite Massif. *Mater. Pr. Inst. Geol.*, **82**, p. 157—169. Warszawa.
- OSIKA R., SUBIETA M., SMOLEŃSKI S. (1970) — Złoże rud wanadowo-ilmenitowo-magnetytowych „Otanmäki” w porównaniu z analogicznym złożem na Suwalszczyźnie oraz uwagi dotyczące prospekcji geologicznej w Finlandii. *Prz. Geol.*, **18**, p. 195—202, nr 4. Warszawa.
- RYKA W. (1973) — Struktury metamorficzne. W: Skały platformy prekambryjskiej w Polsce, cz. I. *Pr. Inst. Geol.*, **68**, p. 20—59. Warszawa.
- RYKA W. (w druku) — On the Origin of Anorthosites and Associated Iron Ores of the Suwałki Massif (North-eastern Poland). *Biul. Inst. Geol.*, **318**. Warszawa.
- SIEMIĄTKOWSKI J. (1976) — Grafit w skałach suwalskiej intruzji norytowo-anortozytowej. *Prz. Geol.*, **24**, p. 212—213, nr 4. Warszawa.

- SKORUPA J. (1961) — Metody badań geofizycznych zakrytych obszarów na przykładzie północno-wschodniej Polski. *Prz. Geol.*, 9, p. 206—209, nr 4. Warszawa.
- SUBIETA M. (1966) — Masywy zasadowe południowej Syberii. *Geol. za Gran.*, nr 1, p. 76—84. Warszawa.
- SZCZEPANOWSKI W. (1977) — Mineralogiczno-geochemiczne badania skał norytowo-anortozytowego masywu suwalskiego. *Arch. Inst. Geol.* Warszawa.
- ZNOSKO J. (1958) — Tymczasowe sprawozdanie o wynikach wiercenia Szlino-kieinie (Suwałki I). *Prz. Geol.*, 6, p. 542—545, nr 12. Warszawa.

Henryk КУРБЕЛЬ, Яцек СЕМЁНТКОВСКИ, Марьян СУБЕТА

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В РАЙОНЕ СУВАЛК (СЕВЕРО-ВОСТОК ПОЛЬШИ)

Резюме

Геолого-геофизические работы проводятся на северо-востоке Польши с 1949 года. Результаты геофизической съёмки дали основу для геолого-буровых работ, начатых здесь в 1957 году Геологическим институтом. Полудетальные и детальные магнитные и гравиметрические исследования, выполненные в районе Сувалкского основного массива, оказались весьма полезными при поисках и разведке ильменитово-магнетитовых месторождений. По результатам магнитной съёмки были выделены площади с сильной и очень сильной намагниченностью пород т.е., области залегания ильменитово-магнетитовых руд, норитов и анортозитов.

Отмечена хорошая коррелируемость ильменитово-магнетитовых месторождений с выделенными локальными магнитными аномалиями, несмотря на изменчивость направленности остаточной намагниченности руды, мешающей интерпретации магнитных аномалий.

Сувалкские руды приурочены к анортозитам. Обособление слюва, обогащённого рудными компонентами и насыщенного минерализаторами, произошло в результате процесса дифференциации. Выделено несколько стадий оруденения. Сплав рудных окислов с силикатами и сульфидами вышел из глубин массива в ослабленные зоны под воздействием динамического фактора. В норитах образовались согласные рудные тела, а позднее нерегулярные тела и жилы в анортозитах. Выделено четыре типа рудных групп: анортозитовая с магнетитом и гематит-ильменитом, рудная группа с высокотитановым магнетитом, содержащим 3,0—8,2% TiO_2 , рудная группа с низкотитановым магнетитом, содержащим 0,8—2,0% Ti_2O_3 , а также норитовая с магнетитом, содержащим 0,4—0,9% TiO_2 и группа в габбро-норитах, лейконоритах и диоритах массива.

На ЮЗ анортозитового массива, на площади 36 км² открыто месторождения: Кжемянка, Еленево и Удрынь. В месторождении Кжемянка мощность линз, угол падения которых составляет 45°, колеблется от 3 до 120 м. Большинство рудных тел (69%) месторождения имеет мощность 3—11 м., а основная масса руды (66%) содержится в рудных телах большой мощности. Содержание железа в рудах колеблется от 20 до 48%, а в среднем месторождение содержит 27,9% Fe, 7,2% TiO_2 и 0,3% V_2O_5 . Месторождения Удрынь и Еленево содержат руды такого же типа.

Henryk KURBIEL, Jacek SIEMIĄTKOWSKI, Marian SUBIETA

**THE RESULTS OF GEOPHYSICAL-GEOLOGICAL SURVEYS OF THE
SUWAŁKI REGION (NORTH-EASTERN POLAND)**

S u m m a r y

The geophysical-geological surveys of north-eastern Poland were initiated in 1949. The results of regional geophysical mapping confirmed the need to initiate geological-drilling works by the Geological Institute in 1957. Semi-detailed and detailed magnetic and gravimetric surveys of the area of the Suwałki basic massif appeared highly useful in prospecting and exploration of ilmenite-magnetite deposits. The results of magnetic surveys made it possible to differentiate areas of occurrence of deposits characterized by very high and high magnetization, i.e. ilmenite-magnetite ores and ore-bearing norites and anorthosites.

The correlation between ilmenite-magnetite deposit and the recorded local magnetic anomalies appeared to be high, despite of difficulties in interpretation of magnetic anomalies which are related to varying remnant magnetization of ore.

The Suwałki ores are related to anorthosites. The melt enriched in ore components and saturated with mineralizers has separated in result of differentiation. A few mineralization stages were differentiated. The melt of oxide ore with silicates and sulfides has been transported from deep parts of the massif to zones of loosening, with a marked contribution of dynamic factor. Subsequently, concordant ore bodies have originated in norites and later, irregular ore bodies and veins in anorthosites. Four types of ore assemblages are recognized: anorthosite with magnetite and hemo-ilmenite, ore with magnetite rich in titanium (3.0 to 8.2% of TiO_2), ore with magnetite poor in titanium (0.8 to 2.0% of TiO_2), and norite with magnetite containing from 0.4 to 0.9% of TiO_2 and occurring also in gabbrodiorites leuconorites and diorites of the Suwałki massif.

The deposits were discovered at Krzemianka, Jeleniewo and Udryń, in area of about 36 km² in NE part of the anorthosite massif. In the Krzemianka deposit, ore bodies are lenticular in shape, steeply inclined (at the angle of 45°) and 3 to 120 m thick. The majority (69%) of ore bodies of that deposit range from 3 to 11 m in thickness but the bulk of ore (66%) is connected with the thick bodies. Iron content of the ores ranges from 20 to 48%, and the average content of Fe in the deposit equals 27.9%, TiO_2 — 7.2%, and V_2O_5 — 0.3%. The Udryń and Jeleniewo deposits comprise ores of the same type.