

Alina KABATA-PENDIAS

## Minerały wtórne w anortozytach i norytach intruzji suwalskiej

Zachowane strefy hipergenicznie przeobrażonych anortozytów i norytów intruzji suwalskiej reprezentowane są przez skały o średnim lub słabym stopniu zwietrzenia. Minerały wtórne najczęściej występują w postaci drobnych skupisk w strefie wietrzenia lub na powierzchni spękań i szczelin skalnych. Duże rozproszenie tych minerałów w częściowo przeobrażonych skałach krystalicznych utrudnia ich wyodrębnienie oraz identyfikację, w związku z czym nie określono dotychczas dokładnie minerałów wtórnych, jakie powstają w początkowych stadiach przeobrażenia anortozytów i norytów.

W artykule omówiono identyfikację minerałów wtórnych wyodrębnionych ze skał intruzji suwalskiej wykazujących średni stopień przeobrażenia.

### ZAKRES I METODY BADAŃ

W badaniach uwzględniono głównie skały o przeobrażeniu typu szczelinowo-gniazdowego. Taka forma występuje najczęściej w anortozytach, które pobrano z różnych głębokości strefy zwietrzałych skał z otworów wiertniczych K-6, K-10, K-12, K-19 i K-22. Wyraźne formy zwietrzenia stwierdzono także w norytach z rdzenia wiertniczego K-25.

Wyznaczone skupienia minerałów wtórnych wypreparowano mechanicznie z masy skalnej, a następnie poddano separacji mechanicznej i magnetycznej. Całkowite oddzielenie minerałów wtórnych od pierwotnych okazało się jednak niemożliwe, ponieważ minerały te często przerastają się wzajemnie.

Wypreparowane próbki minerałów poddano analizie rentgenograficznej, którą wykonano pod kierunkiem dra M. Stępniewskiego w Zakładzie Geochemii IG na dyfraktometrze rentgenowskim f-my Rigaku-Denki, przy zastosowaniu promieniowania  $\text{CuK}\alpha$ . Pomiarów przeprowadzono na preparatach proszkowych, powietrznie suchych. W niektórych przypadkach, wymagających testów dodatkowych, zastosowano orientację preparatów lub ich ogrzewanie.

Ponadto doc. dr W. Ryka dokonał przeglądu pod mikroskopem szlifów przygotowanych z niektórych partii przeobrażonych skał, określając występujące w nich minerały. Fotografie wypreparowanych minerałów wykonał K. Kujawski przy pomocy mikroskopu elektronowego.

#### ANORTOZYTY

Anortozyty zbudowane są głównie z plagioklazów o składzie andezyn-labrador (O. Juskowiak, 1971). W skałach tych występują zmienne ilości składników akcesorycznych (pirokseny, magnetyt i ilmenit) oraz w stropowych partiach rdzeni wiertniczych minerały wtórne. Najpowszechniejszymi składnikami minerałów wtórnych są według O. Juskowiaka (1971) węglany i chloryt. Minerale wtórne występują w postaci drobnych gniazd, szlifów i żyłek oraz nalotów na powierzchni spekań. Podobną formę wietrzenia zasadowych skał krystalicznych opisali N. N. Lewych i A. S. Machnac (1971), nazywając je szczelinowo-powierzchniowym. Dla przeobrażeń badanych anortozytów z przewagą gniazdowych skupień minerałów wtórnych przyjęto określenie wietrzenia szczelinowo-gniazdowego.

Plagioklasy należą do jednych z mniej odpornych na chemiczne wietrzenie składników skałotwórczych (F. C. Loughnan, 1969). Wiązania glinu i krzemu z tlenem ulegają w tych minerałach pod wpływem hydrolizy częściowemu rozluźnieniu, a kationy metali alkalicznych zostają łatwo usunięte i podstawione najczęściej  $H^+$  jonem. W warunkach słabego ługowania kationy, głównie magnezu i żelaza, są wiązane przez tworzące się krzemiany warstwowe, w wyniku czego powstają montmorylonity i chloryty. Końcowym produktem wietrzenia plagioklazów, zwłaszcza w warunkach intensywnego ługowania, jest kaolinit i (lub) hydrargilit. Najczęściej podawane są przykłady przeobrażenia plagioklazów w montmorylonit (F. C. Loughnan, 1969; W. D. Nettleton, K. W. Flach, R. E. Nelson, 1970; N. N. Lewych, A. S. Machnac, 1971) i w nontronit (E. W. Turobowa, 1968; B. M. Michajłow, G. W. Kuligowa, 1970; A. Kabata-Pendias, 1971), a następnie w końcowych stadiach zwietrzenia w kaolinit i tlenki glinu (P. Segalen, 1969). Według W. A. Wasiljewa (1969) illit stanowi przejściową formę przeobrażenia plagioklazów w kaolinit w warunkach wietrzenia zasadowych skał krystalicznego podłoża platformy na Litwie.

Pirokseny są dosyć częstymi składnikami badanych anortozytów (O. Juskowiak, 1971). Tlenowe wiązania metali z grupą krzemową są na ogół słabe i ulegają łatwo rozerwaniu pod wpływem działania wody. Rozluźnione łańcuchy krzemianowe układają się w pakiety i łącząc uwolniony glin i magnez tworzą montmorylonit i chloryt. Przy silniejszym stopniu zwietrzenia, związanym z intensywnym wylugowaniem jonów wapnia i magnezu, a także częściowo krzemionki, końcowymi produktami przeobrażeń piroksenów są kaolinit oraz tlenki żelaza i tytanu (P. Segalen, 1969). N. N. Lewych i A. S. Machnac (1971) opisują przeobrażenia piroksenów w kaolinit poprzez przejściowe stadia chlorytu i montmorylonitu. W. A. Wasiljew (1969) stwierdził jedynie różne formy chlorytu w stadiach przejściowych piroksenu w kaolinit. D. M. Hendricks i L. D. Whitting (1968) podają przykład powierzchniowego i szczelinowego zwietrzenia kryształów hiperstenu, które pokryte warstewką żelazistej substancji ilastej pozostają niezwiędnięte wewnątrz. Podobne formy otoczek żelazis-

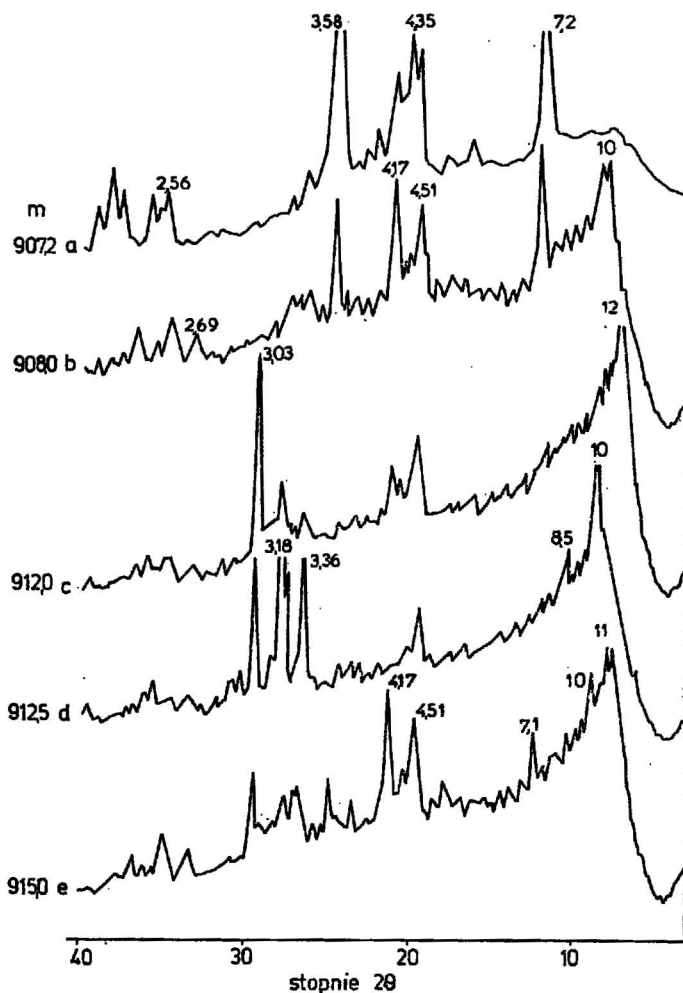


Fig. 1. Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wypreparowanych z anortozytów rdzenia wiertniczego K-6  
X-ray diffraction patterns for the minerals separated from the anorthosites of the K-6 drill-core

a — minerał biały (szklisty) występujący na powierzchni spekań (próba orientowana); b — substancja żółtozielona ze skupień gniazdowych; c — substancja jasnozielona ze skupień gniazdowych; d — ciemnozielone blaszki poblotowane; e — jasnozielona substancja z drobnych gniazd rozslanych w masie skalnej

Na wszystkich figurach liczby na dyfraktogramach oznaczają wartości odstępów płaszczyzn sieciowych w Å

a — white, glassy mineral from the fissure surface (oriented); b — yellowish green substance from the small pockets; c — light green substance from the small pocket; d — dark green flakes (after blotting); e — light green substance from the small spots distributed in the whole rock

Numbers above the curves in all Figs. denote the spacing in Å

tych stwierdzono także w przeobrażonych skałach zasadowych Sejn (A. Dziedzic, S. Kubicki, W. Ryka i in., w przygotowaniu do druku). Według O. Juszkowiaka (1971) pirokseny anortozytów intruzji suwalskiej ulegają amfibolizacji lub przeobrażeniom w agregaty chlorytowo-węglanowe.

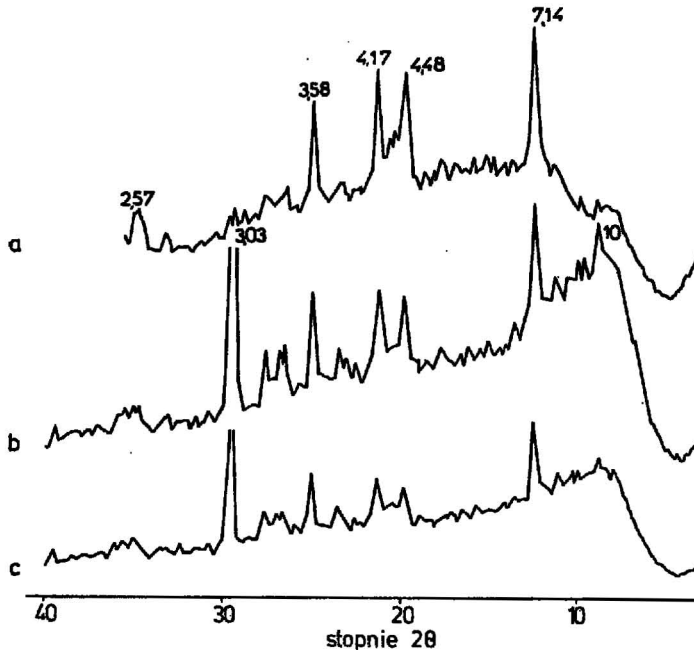


Fig. 2. Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wypreparowanych z przeobrażonego anortozytu z głębokości 905,5 m z rdzenia wiertniczego K-6

X-ray diffraction patterns for the minerals separated from the altered anorthosite at the depth 905,5 m of the K-6 drill-core

a — żółtozielona substancja ze skupień gniazdowych; b — żółta substancja z powierzchni spękań; c — ciemnobrunatna substancja z powierzchni spękań.

a — yellowish green substance from the small pockets; b — yellow substance from the fissure surface; c — dark brown substance from the fissure surface

Minerały nieprzezroczyste występują w anortozytach w różnych ilościach — od 0,1 do 20,3% objętościowych (O. Juszkowiak, 1971). Są to najczęściej magnetyt i ilmenit. Minerały te ulegają szybko utlenieniu podczas procesów hipergenicznych, przeobrażając się w hematyt, getyt i maghemit (P. Segalen, 1964; F. C. Loughnan, 1969). Procesy oksydacji i hydratacji minerałów żelaza, zwłaszcza w klimacie tropikalnym, prowadzą również do powstawania bezpostaciowych tlenków tego pierwiastka. Podwyższoną zawartość bezpostaciowej substancji żelazistej stwierdzono w strefach przeobrażonych anortozytów i norytów (A. Kabata-Pendias, 1971), a także w zwietrzelinie granitów pegmatytowych (W. A. Wasiljew, 1969).

W częściowo przeobrażonych anortozytach nawierconych w otworze K-6 minerały wtórne występują głównie w postaci gniazdowych skupień, wielkości 0,5 do 3 mm, oraz na powierzchni szczelin skalnych. W stro-

powej części przeobrażonych skał znajduje się natomiast warstwa (o miąższości poniżej 0,5 m) twardej, białej skrzemionkowanej skały z licznymi plamkami rdzawymi.

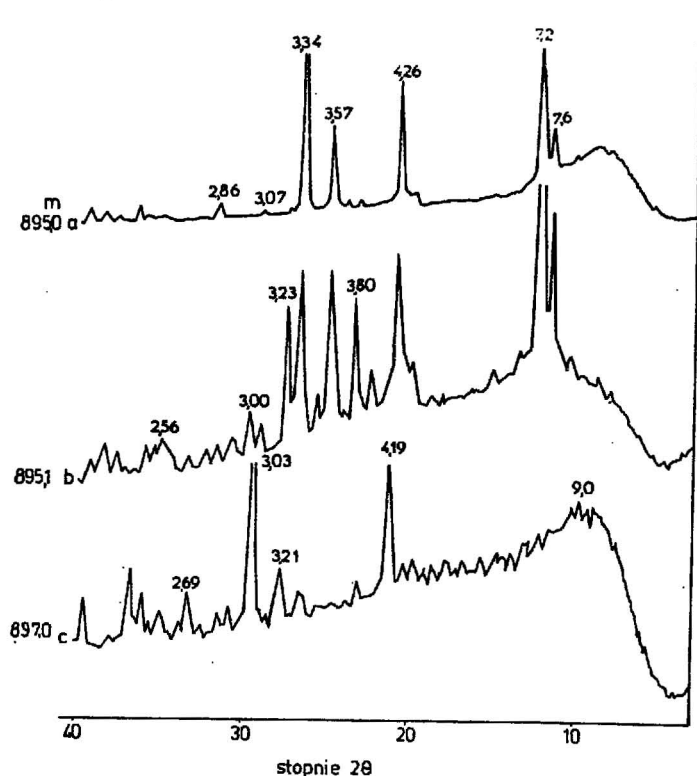


Fig. 3. Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wydzielonych z przeobrażonych anortozytów rdzenia wiertniczego K-10

X-ray diffraction patterns for the minerals separated from the altered anorthosites of the K-10 drill-core

a — biała substancja w skupieniach gniazdowych strefy kontaktowej (rejestrowana przy 4-krotnie zmniejszonej czułości pomiaru); b — biała substancja z powierzchni spękań; c — żółtozielona substancja z powierzchni spękań

a — white substance from the pockets of contact zone (recorded at 4 times smaller sensitivity); b — white substance from the small veins; c — yellowish green substance from the fissure surface

Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wypreparowanych z różnych głębokości rdzenia wiertniczego otworu K-6 przedstawione są na fig. 1. W oparciu o zidentyfikowane refleksy stwierdzono, że skała ta składa się głównie z kaolinitu (próbka a). W mikroskopowym obrazie płytki cienkiej obserwuje się minerały ilaste scementowane kwarcowymi wytrąceniami. W masie skalnej pojawiają się skupienia getytu oraz bezpostaciowych wodorotlenków żelaza.

Zespół minerałów o zabarwieniu żółtozielonym, występujący w gniazdach na głębokości 908 m (próbka b, fig. 1), składa się z kaolinitu (7,2

i 3,58 Å), mięk o różnym stopniu uwodnienia (podstawowy refleks szeroki w zakresie 10 Å) oraz z getytu (4,17 i 2,69 Å) i nontronitu (4,51 i 2,57 Å). Na fotografii wykonanej przy pomocy mikroskopu elektronowego (tabl. I, fig. 7) obserwuje się nieregularne kryształy kaolinitu oraz rozsypujące się cienkie blaszki hydromięk (H. Beutelspacher, H. W. van der Marel, 1968). Ponadto w preparacie występują nieliczne formy igieł i w dominującej ilości bezpostaciowe formy, trudne do zidentyfikowania. Jasnozielona substancja wydzielona z głębszego poziomu (próbka c) składa się natomiast głównie z montmorylonitu (12 Å) i kalcytu (3,03 Å) oraz z mniejszych ilości getytu. Pobiotytywowe ciemnozielone blaszki (próbka d) zawierają głównie hydrobiotyt oraz plagioklasy (3,36 i 3,18 Å). Ponadto w próbce tej występuje kalcyt i nie zidentyfikowany minerał dający refleks przy 8,5 Å. W magnetycznej frakcji wydzielonej ze szlifów biotytowych tej partii skał obok kalcytu i biotyty stwierdzono hipersten, a także nie zidentyfikowany minerał w zakresie refleksu 8,5 Å. Jasnozielona substancja występująca w postaci licznych drobnych gniazd, wydzielona ze skał z głębokości 915 m (próbka e), składa się z uwodnionych łyszczyków, nontronitu, getytu i lepidokrokitu (6,41; 6,23; 3,29; 2,45 Å) oraz z mniejszych ilości kaolinitu i kalcytu.

Różnie zabarwione minerały wtórne wyseparowane oddzielnie z anortozytów znajdujących się na głębokości 905 m, a więc w podpowierzchniowym poziomie strefy przeobrażonych skał, wykazują odrębny skład (fig. 2). Żółtozielona substancja (próbka a) występująca w gniazdach zawiera głównie kalcyt, kaolinit, getyt i nontronit. Na powierzchni spękań skalnych znajduje się żółta mieszanina kaolinitu, zwietrzałego biotyty i kalcytu (próbka b). Brunatna substancja wypreparowana ze szczelin ma podobny skład mineralny, a różni się jedynie znacznie mniejszą ilością biotyty (próbka c). Wydzielone ze skał (głębokość 912 m, próbka d — fig. 1) blaszki przeobrażonych biotyty (barwy ciemnozielonej) zawierają — obok uwodnionego biotyty z wzrostkami plagioklazów — kalcyt, nontronit i nie zidentyfikowany minerał dający refleks w zakresie 8,5 Å.

W szlifach wykonanych z tych serii skał wyróżniono pod mikroskopem następujące minerały wtórne: kaolinit, hydrobiotyt, getyt oraz substancję elastą o barwie zielonej.

W stropowej partii zwietrzeliwy otworu wiertniczego K-10, w strefie bezpośredniego kontaktu amortozytów ze skałami piaskowca pstrego, występują liczne gniazda sypkiej substancji, całkowicie odbarwionej. W jej składzie stwierdzono kaolinit, kwarc i gips. Dyfraktogram próbki a na fig. 3 zarejestrowany został przy czterokrotnie zmniejszonej czułości pomiaru w stosunku do pozostałych wykresów.

W oparciu o refleksy 7,6; 4,28; 3,80; 3,07; 2,86 Å zidentyfikowano obecność gipsu. Ze względu na dużą zgodność refleksów gipsu z hydrotalcytem wykonano dodatkowe testy, które potwierdziły występowanie gipsu (A. Kabata-Pendias, 1971). Nagromadzenie gipsu w tych skałach znajduje odbicie w składzie chemicznym, odznaczającym się zwiększoną zawartością siarczanów. Mikrofotografia białych minerałów występujących w gniazdach wykazuje obecność dobrze wykrystalizowanego kaolinitu (tabl. I, fig. 8) oraz mniejszej ilości skręconych rurkowato blaszek (tabl. II, fig. 9), które zgodnie z opisem W. E. Parhama (1969) należy przyjąć za począt-

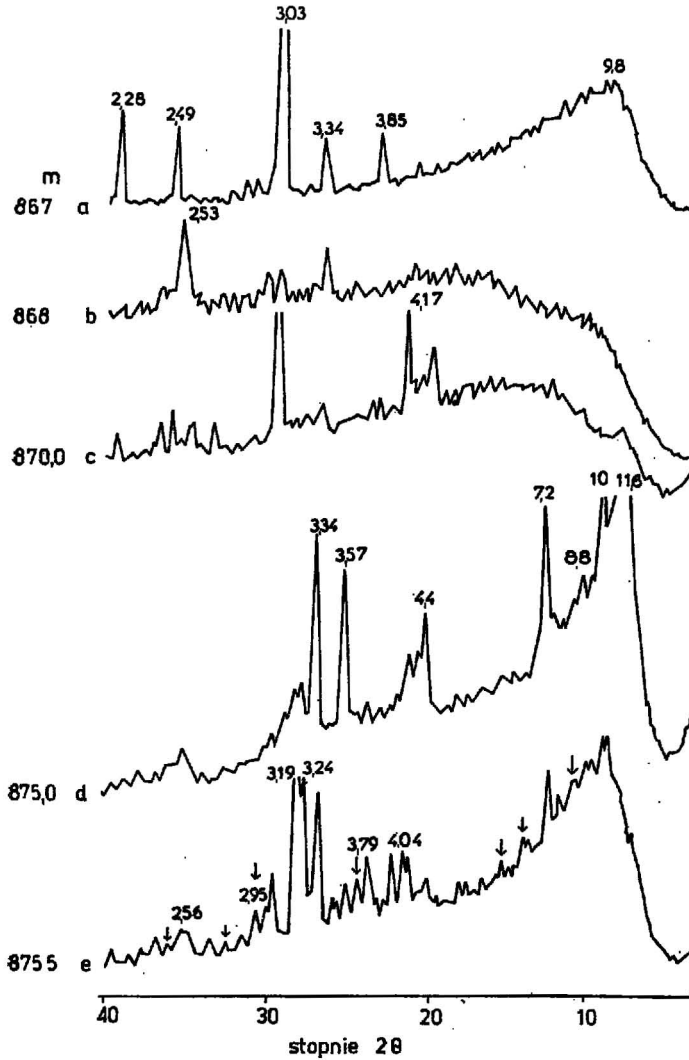


Fig. 4. Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wyseparowanych z przeobrażonych anortozytów rdzenia wiertniczego K-12

X-ray diffraction patterns for the minerals separated from the altered anorthosites of the K-12 drill-core

a — biała substancja ze skupień gniazdowych; b — frakcja magnetyczna z masy skalnej; c — żółta substancja z powierzchni spekań; d — biała substancja z powierzchni spekań żyły granitowej; e — żółta substancja z powierzchni spekań anortozytu ze strefy kontaktu z żyłą granitową. Piki oznaczone strzałkami odpowiadają refleksom magne-  
mиту

a — white substance from the small pockets; b — magnetic fraction of the rock; c — yellow substance from the fissure surface; d — white substance from the surface of the vein of granite; e — yellow substance from the fissures of anorthosite wall-rock. The arrows indicate the reflections of magnetite

kowe stadium powstawania halozytu. W próbce tej nie stwierdzono kryształów gipsu.

W głębszej partii anortozytów z otworu wiertniczego K-10 występują w szczelinach skupienia minerałów białych i żółtozielonych. Mineralny skład białej substancji wypreparowanej z powierzchni spękań jest zbliżony do składu białych minerałów gniazdowych (próbka b, fig. 3); występuje w niej jedynie większa zawartość kaolinitu oraz mikroklin (3,23 i 4,18 Å) i śladowe ilości kalcytu. Substancja żółtozielona natomiast składa się głównie z kalcytu i getytu oraz małych ilości mikroklinu i uwodnionych mik dających szeroki refleks w zakresie od 9 do 12 Å.

W mikroskopowym obrazie szlifów wykonanych z tych anortozytów stwierdzono wyraźne ślady przeobrażenia w ziarnach anortytu oraz obecność getytu, kalcytu, hydrobiotyty i substancji ilastej. W rozmieszczeniu getytu zaznaczają się wyraźne skupienia na krawędziach minerałów, szczególnie mikroklinu. Skupienia getytu odpowiadają otoczkom wtórnych minerałów żelaza, które według D. M. Hendricksa i L. D. Whittiga (1968) chronią ziarna minerałów przed zupełnym zwiertzeniem.

W anortozytach z rdzenia wiertniczego K-12 wypreparowano wtórne minerały z różnych głębokości oraz ze strefy przeobrażonych skał w bezpośrednim kontakcie z żyłą granitową, przecinającą anortozyty. Biały minerał ze skupień gniazdowych w powierzchniowej partii skał jest prawie czystym kalcytem (3,85; 3,34; 3,03; 2,49; 2,28 Å) z niewielką domieszką kwarcu i kaolinitu oraz uwodnionych lyszczyków (próbka a, fig. 4). Na powierzchni spękań skalnych występuje natomiast kalcyt zażółcony getytem i domieszką minerałów ilastych typu montmorylonitu (próbka c). Wydzielona frakcja magnetyczna (próbka b) składa się głównie z magnetytu i uwodnionych tlenków żelaza, z którymi związane są małe ilości kwarcu.

Biała substancja występująca w spękaniach żyły granitowej zawiera trochę nierozłożonych mik oraz dużo montmorylonitu o pakietach mieszanych — rozmyty refleks w zakresie 11,6 oraz 4,4 i 2,56 Å; na fig. 4 przedstawiony jest tylko dyfraktogram preparatu proszkowego próbki d, wyników badań testowych nie podano na rysunku. Minerale wtórne pojawiające się w postaci żółtych nalotów na powierzchni spękań przeobrażonych anortozytów ze strefy kontaktu z żyłą granitową zawierają kaolinit i tlenki żelaza, wśród których zidentyfikowano magnetyt, getyt, lepidokrokit, maghemit (próbka e, fig. 4). Ponadto w próbce tej występuje nie przeobrażony andezyn (4,04; 3,24 i 3,19 Å) oraz labrador (3,79; 2,85 i 2,53 Å). Maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) jest formą tlenku żelaza, jaka często powstaje przy utlenianiu magnetytu w warunkach wietrzenia zasadowych skał krystalicznych w klimacie gorącym i wilgotnym (P. Segalen, 1969; F. C. Loughnan, 1969). P. A. Wagner (*vide* P. Segalen, 1964) stwierdził występowanie maghemitu łącznie z ilmenitem w norytach Afryki Południowej. Wydzielone blaszki biotyty z anortozytów strefy kontaktowej reprezentują monomineralną frakcję prawie świeżego minerału, co wskazuje na stosunkowo słabo posunięte procesy przeobrażeń tej partii skał.

W płytkiej strefie zwiertzałych anortozytów w otworze wiertniczym K-19 wyróżniono jedynie gniazdowo rozmieszczone minerały wtórne o barwie brunatnej lub żółtozielonej. W składzie obu substancji dominuje kalcyt obok getytu, nontronitu i minerałów o pakietach mieszanych



montmorylonitowo-illitowych. Substancja brunatna zawiera mniej kalcytu, natomiast występują w niej bezpostaciowe uwodnione tlenki żelaza.

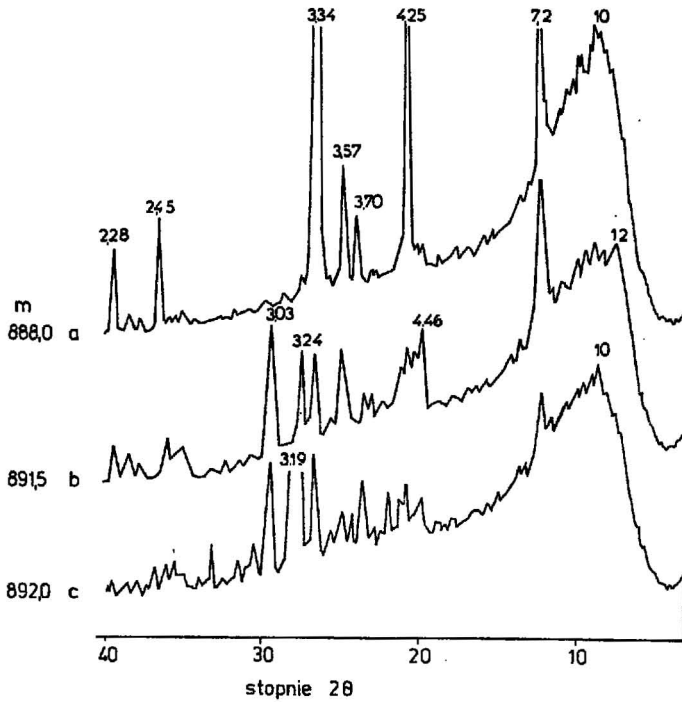


Fig. 5. Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wypreparowanych z przeobrażonych anortozytów rdzenia wiertniczego K-22

X-ray diffraction patterns for the minerals separated from altered anorthosite of the K-22 drill-core

a — biała substancja w dużych skupieniach gniazdowych piaskowca ze strefy kontaktu; b — biała substancja w skupieniach gniazdowych anortozytu; c — białoróżowa substancja ze skupień gniazdowych anortozytu

a — white substance from the large pockets occurred in the sandstone at the contact zone; b — white substance from the small pockets of anorthosite; c — white-pink substance from the small pockets

W otworze wiertniczym K-22 odwiercono strefę bezpośredniego kontaktu piaskowca triasowego z przeobrażonymi anortozytami. Wyraźnie odróżniają się od tła kremowego piaskowca białe, drobne gniazda wypełnia kwarc, a podrzędnie kaolinit i uwodnione tlenki żelaza (próbka a, fig. 5). W mieszaninie białych minerałów występują również blaszki pobiotytove, które w wyniku hydratacji i silnego wylugowania z kationów uległy zupełnemu odbarwieniu (A. Kabata-Pendias, W. Ryka, 1968).

W niższych partiach anortozytów wyróżniono gniazdowe skupienia białych minerałów, składające się z kalcytu, kaolinitu oraz minerałów o pakietach mieszanych illitowo-montmorylonitowych i małej zawartości

plagioklazów (próbka b, fig. 5). Substancja o zabarwieniu różowym ma zbliżony skład mineralny, wykazuje jedynie zwiększoną zawartość plagioklazów (próbka c).

#### NORYTY

Głównymi składnikami norytów z intruzji suwalskiej są według O. Juskowiaka (1971): plagioklaz (andezyn-labrador), pirokseny (hipersten, augit diopsydowy) oraz magnetyt i ilmenit. Hipergeniczne przeobrażenia

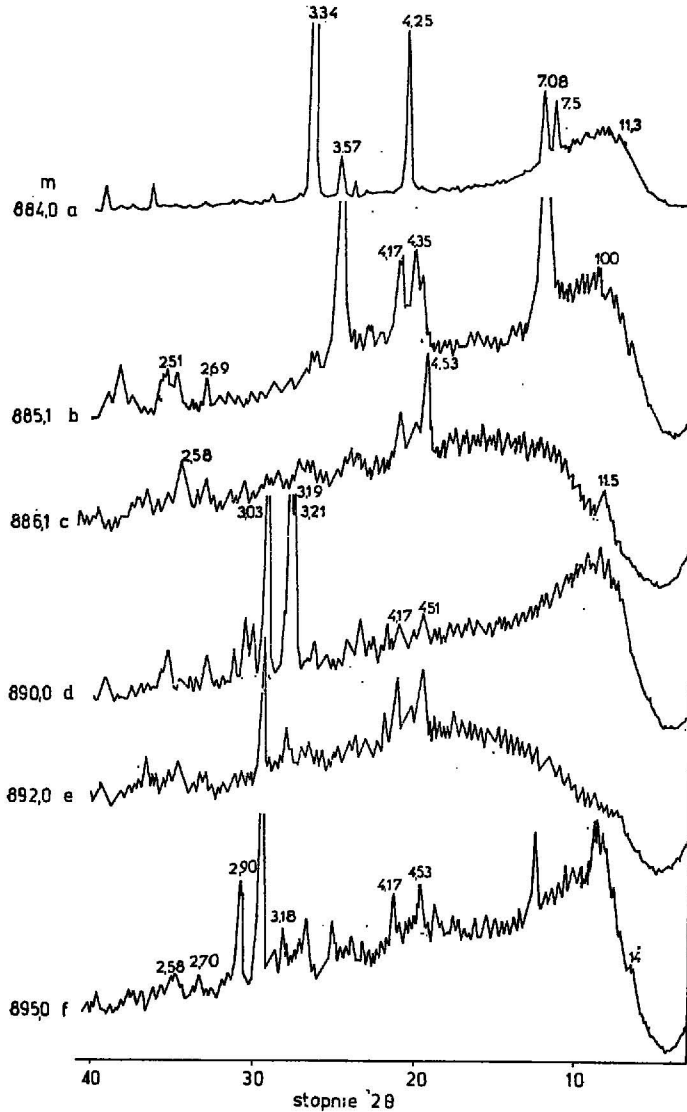


Fig. 6. Dyfraktogramy rentgenowskie minerałów wypreparowanych z przeobrażonych norytów rdzenia wiertniczego K-25

plagioklazów i piroksenów przy wietrzeniu norytów zachodziły w tych samych warunkach co wietrzenie anortozytów. W skałach tych występuje jednakże większa ilość żelaza, które jest częściowo wiązane przez minerały ilaste. W takich warunkach powstaje często nontronit, a także odmiany mik bogatych w żelazo. Występowanie nontronitu w reliktach dawnej zwietrzliny stwierdził S. S. Czekin (1966). B. M. Michajłow i G. W. Kulikowa (1970) opisali powstawanie nontronitu przy wietrzeniu kimberlitów w warunkach słabego ługowania, a D. H. Yaalon (1970) przedstawił rolę żelaza przy powstawaniu nontronitu w warunkach wietrzenia zasadowych skał krystalicznych. W glebach wytworzonych z różnych skał zasadowych występuje często nontronit jako pierwszy produkt przeobrażeń minerałów pierwotnych (E. A. Jariłowa, 1950; G. D. Sherman, H. Ikawa, G. Uchara, E. Okazaki, 1962; F. C. Loughnan, 1969). Nontronit powstaje w strefach słabo ługowanych skał wietrzejących w obecności alkalicznych roztworów.

Przeobrażenia magnetytu i ilmenitu polegają przede wszystkim na utlenieniu oraz uwodnieniu związków żelaza. W wyniku tych procesów powstają hematyt, maghemit, getyt, lepidokrokit oraz bezpostaciowe wodorotlenki żelaza, występujące najczęściej w postaci otoczek na różnych ziarnach minerałów. W obecności roztworów alkalicznych, w których utlenienie żelaza zachodzi szybciej niż w środowisku kwaśnym, maghemit jest rozpowszechnioną formą tlenku żelaza (P. Segalen, 1964).

Końcowym produktem wietrzenia minerałów norytu w środowisku intensywnego wylugowywania kationów alkalicznych jest kaolinit oraz tlenki żelaza, glinu i tytanu, często nagromadzone w spągowej partii zwietrzliny (A. Kabata-Pendias, 1970).

W strefie przeobrażonych norytów z otworu wiertniczego K-25 zachował się bezpośredni kontakt ze skałami osadowymi. W spągu jasnego piaskowca z rdzawymi plamami występują liczne gniazda białej substancji, która składa się z kwarcu, kaolinitu i gipsu oraz z tyszczyków o pakietach mieszanych (próbka a, fig. 6). Dyfraktogram tej próbki został wykonany przy zmniejszonej czułości pomiarowej aparatu. Zwiększona czułość pomiaru rejestruje dodatkowe refleksy, charakterystyczne dla gipsu oraz rozszczepienie pików przy 4,25 Å na refleks kwarcu i gipsu. W powierzchniowym poziomie przeobrażonych norytów barwy brunatnozielonej występują białe minerały rozmieszczone gniazdowo. Składają się one jednak głównie z kaolinitu oraz z małej domieszki uwodnionych tyszczyków (próbka b, fig. 6).

**X-ray diffraction patterns for the minerals separated from the altered norites of the K-25 drill-core**

a — biała substancja z gniazd występujących w piaskowcu strefy kontaktowej (rejestrowana przy 4-krotnie zmniejszonej czułości pomiaru); b — biała substancja z gniazd występujących w norytach; c — oliwkowozielone minerały z drobnych skupień; d — jasnozielona substancja gniazdowa; e — jasnozielona substancja w postaci żyłek; f — ciemnozielone ziarna minerałów

a — white substance from the pockets occurred in the sandstone at the contact zone (recorded at 4 times smaller sensitivity); b — white substance from the small pockets of norite; c — olive-green substance from the spots; d — light green substance from the veins; e — light green substance from the veins; f — dark green particles of the norite



W strefie przeobrażonych norytów występują drobne skupienia ilastych minerałów oliwkowozielonych, w których składzie przeważa minerał o podstawowym refleksie  $d_{002}$  4,53 Å (próbka c, fig. 6). W oparciu o dodatkowe refleksy w zakresie 2,62 i 2,58 Å minerał ten został określony jako nontronit glinowy (D. M. C. MacEwan, 1961). W substancji tej zidentyfikowano ponadto obecność getytu i uwodnionych łyszczyków. Jasnozielona substancja (próbka d, fig. 6), wyodrębniona ze skupień w masie skalnej składa się natomiast głównie z kalcytu i plagioklazów, szczególnie z andezynu (3,31; 3,19 Å). Ponadto w próbce tej występują minerały o mieszanych pakietach biotyto-kaolinowych, z zachowaną strukturą biotyту. Jak wykazały badania przeobrażeń biotyту w strefie wietrzenia gnejsów, blaszki takiego minerału są zupełnie wybielone (A. Kabata-Pendias, W. Ryka 1968). Substancja o podobnym makroskopowo obrazie i zabarwieniu, jak opisana poprzednio, została wydzielona ze skał z głębokości 892 m (próbka e, fig. 6). Składa się ona z kalcytu, nontronitu i getytu. Wysokie tło dyfraktogramu wskazuje na obecność bezpostaciowych tlenków żelaza. Fotografie wykonane przy pomocy mikroskopu elektronowego (tabl. II, fig. 10; tabl. III, fig. 11) z preparatów oliwkowozielonej substancji, wydzielonej z przeobrażonego norytu (głębokość 886,1 m, próbka c), wykazują przewagę listewkowych form strzępiastych (piórkowych), charakterystycznych dla nontronitu (H. Beutelspacher, H. W. van der Marek, 1968).

Wyodrębnione z norytów ciemnozielone kryształy są silnie przeobrażonym hiperstenem, dającym podstawowe refleksy na dyfraktogramie w zakresie 3,18, 2,90 i 2,70 Å (próbka f, fig. 6). W spękaniach lub na powierzchni kryształów występują minerały wtórne, składające się z kalcytu, nontronitu, chlorytu, hydrobiotyту oraz z minerałów żelazistych, określonych jako maghemit, getyt i lepidokrokit. Zidentyfikowany zespół minerałów wtórnych jest charakterystyczny dla przeobrażeń piroksenów opisanych przez O. Juszkowiaka (1971). Niektóre z minerałów wtórnych (np. antygoryt, serycyt) stwierdzone przez tego autora nie mogą być określone w oparciu o dyfraktogram, ponieważ refleksy ich pokrywają się z pikami innych minerałów.

W obrazie mikroskopowym szlifów wykonanych z przeobrażonych norytów wyróżniono spośród minerałów wtórnych jedynie chloryt i getyt. Duża ilość bezpostaciowych wodorotlenków żelaza zaciemnia obraz i utrudnia identyfikację niektórych minerałów. Mikrofotografia ciemnozielonej substancji wydzielonej z norytu (głębokość 895 m, próbka f) przedstawia natomiast nieregularne cienkie blaszki oraz skupienia ziarniste (tabl. III, fig. 12). Identyfikacja tych form przeprowadzona w oparciu o atlas H. Beutelspachera i M. W. van der Mareka (1968) wskazuje na obecność blaszek chlorytu oraz tlenków żelaza.

## WNIOSKI

Zespoły minerałów wtórnych wypreparowanych z przeobrażonych anortozytów i norytów związane są z procesami zachodzącymi w pierwszych stadiach przeobrażeń. Substancja występująca w postaci drobnych skupień powstała głównie w wyniku przeobrażeń hipergenicznych określonych minerałów w masie skalnej. Minerale znajdujące się szczelinach

i spękaniach skalnych natomiast mogą stanowić produkty przeobrażeń minerałów pierwotnych, ale powstawały one głównie w wyniku krystalizacji roztworów hydrotermalnych. W strefie kontaktu skał osadowych z podłożem krystalicznym zachowały się niekiedy gniazda materiału reliktowego, stanowiącego resztki zniszczonych poziomów zwietrzeliny. Materiał ten reprezentowany jest najczęściej przez kaolinit i gips oraz zmienne ilości kwarcu.

Minerały wtórne rozmieszczone gniazdowo w strefie przeobrażeń hipergenicznych anortozytów i norytów mają barwę żółtozieloną lub ciemnozieloną i brunatną. W substancji jaśniejszej przeważa kaolinit oraz minerały o pakietach mieszanych illitowo-montmorylonitowych. Minerały te należy łączyć z przeobrażeniami plagioklazów oraz biotytu. Minerały zielone i brunatne reprezentowane są głównie przez nontronit z domieszką kaolinitu oraz minerałów o pakietach mieszanych illitowo-montmorylonitowych. W skupieniach tych minerałów pojawiają się czasami duże ilości bezpostaciowych form uwodnionych tlenków żelaza i krystaliczne postaci tlenków, zidentyfikowane jako maghemit. Opisane minerały są produktami początkowych przeobrażeń piroksenów oraz pierwotnych minerałów żelaza (magnetytu i ilmenitu). Powszechnym składnikiem obu zespołów minerałów wtórnych są kalcyt oraz getyt, któremu towarzyszy czasami lepidokrokit.

Minerały wypełniające szczeliny i pokrywające powierzchnie spękań skalnych mają zabarwienie białe lub żółto-brunatne. Dominującym ich składnikiem jest na ogół kalcyt. Getyt występuje w zmiennych ilościach i jest czynnikiem wpływającym na intensywność zabarwienia brunatnego. Poza tym często pojawia się w tych zespołach kaolinit i minerały o pakietach mieszanych illitowo-montmorylonitowych. W przypadku wyraźnej przewagi kalcytu nad pozostałymi minerałami można przypuszczać, że krystalizacja w szczelinach odbywała się głównie z roztworów hydrotermalnych.

Obecność chlorytu w zespołach minerałów wtórnych stwierdzono jedynie w przypadku przeobrażonego hiperstenu z norytów. W zwietrzelinie anortozytów powszechnym składnikiem jest natomiast nontronit i jemu należy przypisać oliwkowozielone zabarwienie minerałów ilastych.

Przeobrażenia ważniejszych minerałów skał intruzji suwalskiej przedstawiono niżej.

Zespół minerałów początkowego stadium przeobrażeń anortozytów i norytów wskazuje, że zachodziły one w warunkach alkalicznych, bez wyługowywania kationów, przy dodatkowym wpływie roztworów hydrotermalnych. Uwalniane w trakcie wietrzenia niektóre kationy (Ca, Mg, Na i K) były od razu wiązane przez powstające minerały wtórne oraz krystalizowały w formie węglanów lub siarczanów. Na ogół wszystkie minerały warstwowe występują w strukturach słabo uporządkowanych, tworząc szeregi mieszanych pakietów illitowo-montmorylonitowych. Minerały te charakteryzują się wysoką zawartością żelaza. Stosunkowo powszechne występowanie nontronitu wiąże się z dużą ilością żelaza w środowisku przeobrażeń hipergenicznych.

Przeobrażenia minerałów żelaza polegające na utlenieniu i hydratacji w środowisku alkalicznym wpłynęły na koncentrację tego pierwiastka

## Przeobrażenia ważniejszych minerałów skał intruzji suwalskiej

plagioklasy →	<ul style="list-style-type: none"> <li>— montmorylonit</li> <li>— nontronit</li> <li>— illit</li> <li>— kalcyt</li> </ul>	} kaolinit (haloizyt)
pirokseny →	<ul style="list-style-type: none"> <li>— nontronit</li> <li>— montmorylonit</li> <li>— chloryt</li> <li>— kalcyt</li> <li>— tlenki żelaza</li> </ul>	} kaolinit
biotyt →	<ul style="list-style-type: none"> <li>— hydrobiotyt</li> <li>— minerały o pakietach mieszanych illitowo- montmory- lonitowych</li> </ul>	} kaolinit
magnetyt → ilmenit →	<ul style="list-style-type: none"> <li>— hematyt</li> <li>— maghemit</li> <li>— getyt</li> <li>— lepidokrokit</li> <li>— tlenki Ti</li> </ul>	

w strefach początkowego wietrzenia skał w postaci tlenków (hematyt, maghemit) i wodorotlenków (getyt, lepidokrokit) oraz bezpostaciowych form uwodnionych.

Zakład Mineralogii i Petrografii  
Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
Nadesłano dnia 29 maja 1973 r.

## PIŚMIENNICTWO

- BEUTELSPACHER H., VAN DER MAREL H. W. (1968) — Atlas of elektron microscopy of clay minerals and their admixtures. Amsterdam.
- DZIEDZIC A., KUBICKI S., RYKA W. I IN. (w przygotowaniu do druku) — Opracowanie dokumentacyjne otworu Sejny.
- HENDRICKS D. M., WHITTIG L. D. (1968) — Andesite weathering. Journ. Soil. Sci., 19, p. 135—145. Oxford.
- JUSKOWIAK O. (1971) — Skały plutoniczne północno-wschodniej Polski. Biul. Inst. Geol., 245, p. 7—170. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. (1970) — Hipergeniczne przeobrażenia skał intruzji suwalskiej. Kwart. geol., 14, p. 633—646, nr 4. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. (1971) — Strefa przeobrażeń hipergenicznych w bezpośredniej osłonie zasadowego masywu suwalskiego. Arch. Inst. Geol. (maszynopis). Warszawa.

- KABATA-PENDEIAS A., RYKA W. (1968) — Weathering of biotite gneiss in Palaeozoic. Trans. 9th Intern. Cong. ISSS, 4, p. 381—390. Adelaide.
- LOUGHNAN F. C. (1969) — Chemical weathering of the silicate minerals. London.
- MacEWAN D. M. C. (1961) — Montmorillonite minerals. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. London.
- NETTLETON W. D., FLACH K. W., NELSON R. E. (1970) — Pedogenic weathering of tonalite in Southern California. Geoderma, 4, p. 387—402. Amsterdam.
- PARHAM W. E. (1969) — Formation of halloisite from feldspar: Low temperature artificial weathering versus natural weathering. Clays a. Clay Min., 18, p. 13—22. Oxford.
- SEGALEN P. (1964) — Le fer dan les sols. Doc. techn., 4. ORSTOM. Paris.
- SEGALEN P. (1969) — Metallic oxides and hydroxides in soils of the warm and humid areas of the world. ORSTOM (maszynopis) Bondy.
- SHERMAN G. D., IKAWA H., UEHARA G., OKAZAKI E. (1962) — Types and occurrence of nontronite and nontronite-like minerals in soils. Pac. Sci., 26, 57—62, Honolulu.
- YAALON D. H. (1970) — On high-iron montmorillonites. Discussion on the significance of Mg and Fe in montmorillonites formation from basic igneous rocks. Soil Sci., 110, p. 74—76. London.
- ВАСИЛЬЕВ В. А. (1969) — Древние коры выветривания кристаллического фундамента южной Прибалтики. Изд. Минтис. Вильнюс.
- ЛЕВЫХ Н. Н., МАХНАЧ А. С. (1971) — Дорифейские коры выветривания, развитые на основных магматических породах Белорусского массива. Докл. Акад. Наук БССР, 15, стр. 336—339. Минск.
- МИХАЙЛОВ Б. М., КУЛИГОВА Г. В. (1970) — Фациальные типы кор выветривания на кимберлитах западной Африки. Кора Выветривания, вып. 11, стр. 66—80. Москва.
- ТУРОВОВА Э. В. (1968) — Типы кор выветривания ультраосновных пород Украины. Изв. Выс. Учебн. Завед. Геол. и разь., 12, стр. 18—26.
- ЧЕКИН С. С. (1966) — О нонтроните содержащем железо в тетраэдрической координации. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 8, стр. 131—136. Москва.
- ЯРИЛОВА Е. А. (1950) — Преобразование минералов сивенита на первых стадиях почвообразования. Тр. Почв. Инст. им. Докучаева, 34, стр. 110—142. Москва.

Алиана КАБАТА-ПЕНДИАС

## ВТОРИЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ В АНОРТОЗИТАХ И НОРИТАХ СУВАЛКСКОЙ ИНТРУЗИИ

### Резюме

Проведены исследования вторичных минералов, выделенных в выветренных анортозитах и норитах. Преобразованные минералы, различной формы, расположенные в породах, механически были препарированы и идентифицированы при помощи рентгенового дифрактометра и микроскопа (оптического и электронического).

Определено три группы вторичных минералов: а) минералы, залегающие в виде мелких скоплений в средневыветренной породе, связанные с гипергенными преобразованиями, б) минералы, заполняющие трещины в породах и образовавшиеся главным образом в результате кристаллизации гидротермальных растворов, в) минералы, залегающие в виде гнезд в зоне контакта осадочных пород с кристаллическим фундаментом, являющиеся реликтовым материалом, оставшимся от разрушенных зон выветривания.

Вторичные минералы, расположенные в виде гнезд в среднепреобразованных породах, имеют желтозеленую или темнозеленую и коричневую окраску. В более светлой субстанции преобладает каолинит и смешано слоистые иллитово-монтмориллонитовые минералы. Эти минералы являются продуктами преобразования плагиоклазов и биотита. Зеленые и коричневые минералы представлены главным образом нонтронитом с примесью каолинита и смешано слоистых иллитово-монтмориллонитовых минералов. Эти минералы часто сопровождаются большим количеством аморфных гидратированных окислов железа и их кристаллическими формами, такими как магэмит, гетит и лепидокрокит. Описанные минералы связаны с начальными стадиями преобразования пироксенов, а также магнетита и ильменита.

Белая или желто-коричневая субстанция, заполняющая трещины и покрывающая трещиноватую поверхность пород, состоит в основном из кальцита с примесью различного количества гетита. Кроме того в ней появляется каолинит и смешано слоистые иллитово-монтмориллонитовые минералы.

Гнездовые скопления белых минералов контактной зоны представлены главным образом каолинитом и гипсом и различным количеством кварца.

Группа минералов первой стадии гипергенного преобразования анортозитов и норитов показывает, что оно происходило в щелочных условиях, без выщелачивания катионов и при дополнительном притоке гидротермальных растворов.

Alina Kabata-PENDIAS

## SECONDARY MINERALS IN ANORTHOSITES AND NORITES OF THE SUWALKI INTRUSION

### Summary

The secondary minerals distributed in different forms in the rocks have been investigated under the X-ray diffraction and microscopes (electron and optical).

Three secondary mineral associations have been distinguished: a — minerals in forms of small pockets in moderate weathered rocks, related to hypergenic alterations, b' — minerals in fissures and veins, connected mainly with a crystallization of hydrothermal solutions, c — minerals in larger pockets in the contact zone of sedimentary rocks with the crystalline platform, representing the relict material after the destroyed weathered horizons.

The yellowish green minerals occurring in the small pockets composed mainly of kaolinite and mixed-layer illite-montmorillonite. It is the products of alteration of plagioclases and biotite. Dark green and brown minerals of the small pockets are, in general, represented by nontronite with some kaolinite and illite-montmorillonite. Amorphous iron hydroxides and some ferric oxides (maghemite, goethite, lepi-



docrocite) are associated with these minerals. This group of the secondary minerals is related to the initial stage of alteration of pyroxenes, magnetite and ilmenite.

White or yellowish brown minerals occurring in fissures and veins composed mainly of calcite with some goethite and with admixture of kaolinite and mixed-layers illite-montmorillonite.

The mineral pockets of the contact zone contain kaolinite and in some cases gypsum with various admixtures of quartz.

The associations of secondary minerals of the initial stage of weathering of anorthosites and norites indicate that these rocks have been altered in alkaline environments without leaching and under the additional influence of hydrothermal solutions.

*Author's translation*

#### TABLICA I

- Fig. 7. Minerale wydzielone z żółtozielonych skupień przeobrażonych anortozytów (K-6, głęb. 908 m); występuje kaolinit i hydromiki oraz niezidentyfikowane formy iglaste i bezpostaciowe  
Minerals separated from the yellowish green pockets in the altered anorthosite (K-6, depth 908 m); present kaolinite, hydromica and unidentified needles and amorphous materials
- Fig. 8. Minerale występujące w białych gniazdach strefy kontaktowej anortozytów z piaskowcem (K-10, głęb. 895 m); występuje kaolinit oraz substancja bezpostaciowa  
Minerals occurred in the white pockets of the contact zone of anorthosite with sandstone (K-10, depth 895 m); present kaolinite and amorphous material

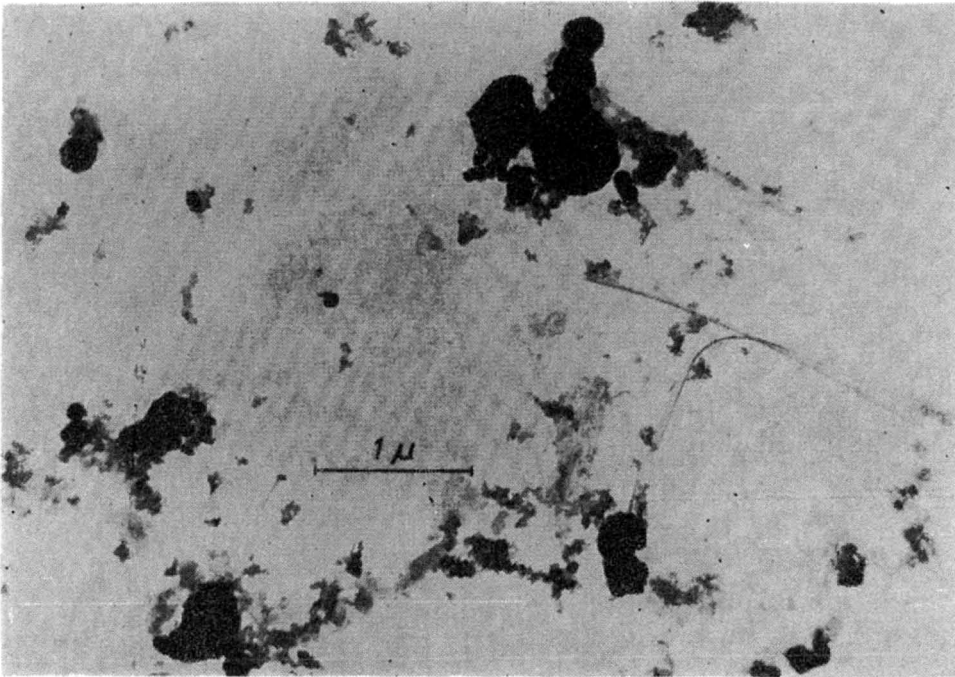


Fig. 7

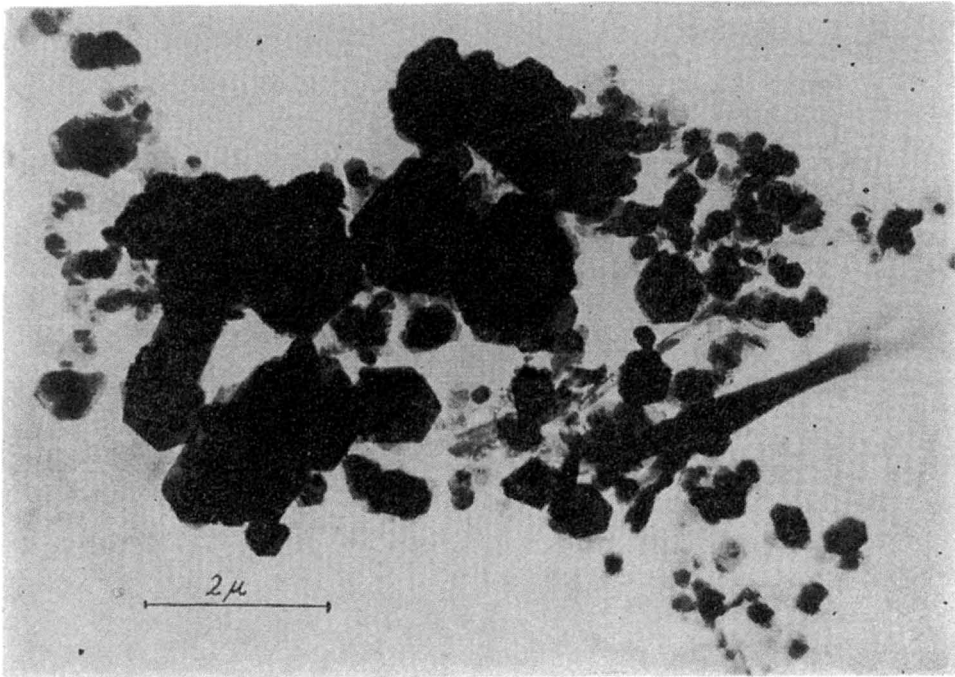


Fig. 8

Alina KABATA-PENDIAS — Minerale wtórne w anortozytach i norytach intruzji suwalskiej

## TABLICA II

Fig. 9. Mikrofotografia minerałów jak na fig. 8 wykazuje większe skupienia rurkowo zwiniętych blaszek, przypuszczalnie haloizyt

The electron micrograph of the minerals as in Fig. 8, showing more bundles of tube-like, perhaps halloysite

Fig. 10. Minerale wypreparowane z oliwkowozielonych skupień z przeobrażonych norytów (K-25, głęb. 886,1 m); dominują listewkowe formy nontronitu

Minerals occurred in the olive-green pockets in the altered norites (K-25, depth 886,1 m); the laths with a feather-like appearance are the dominating forms, perhaps nontronite

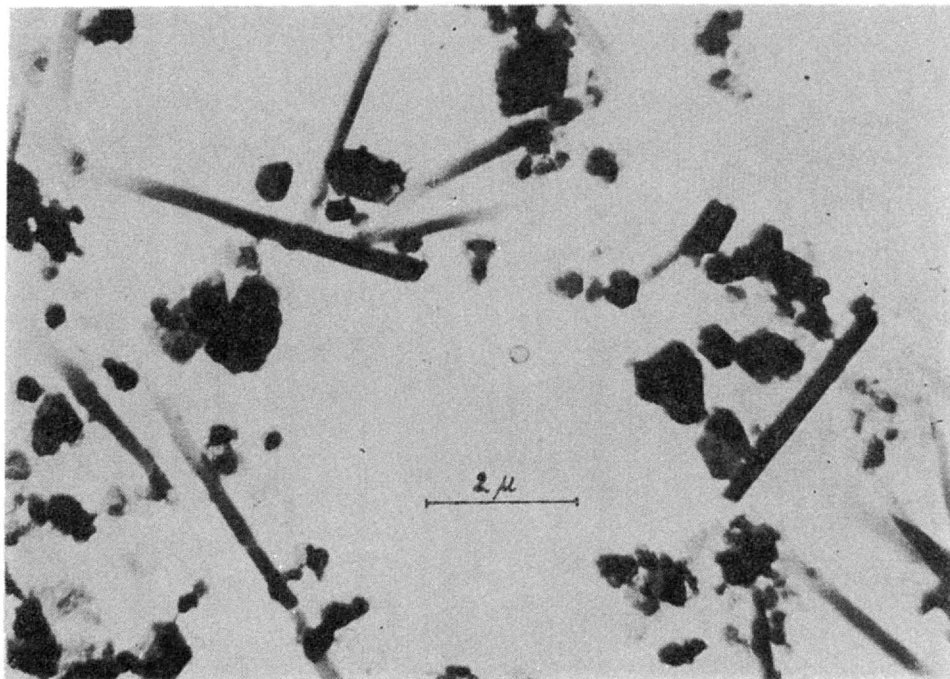


Fig. 9

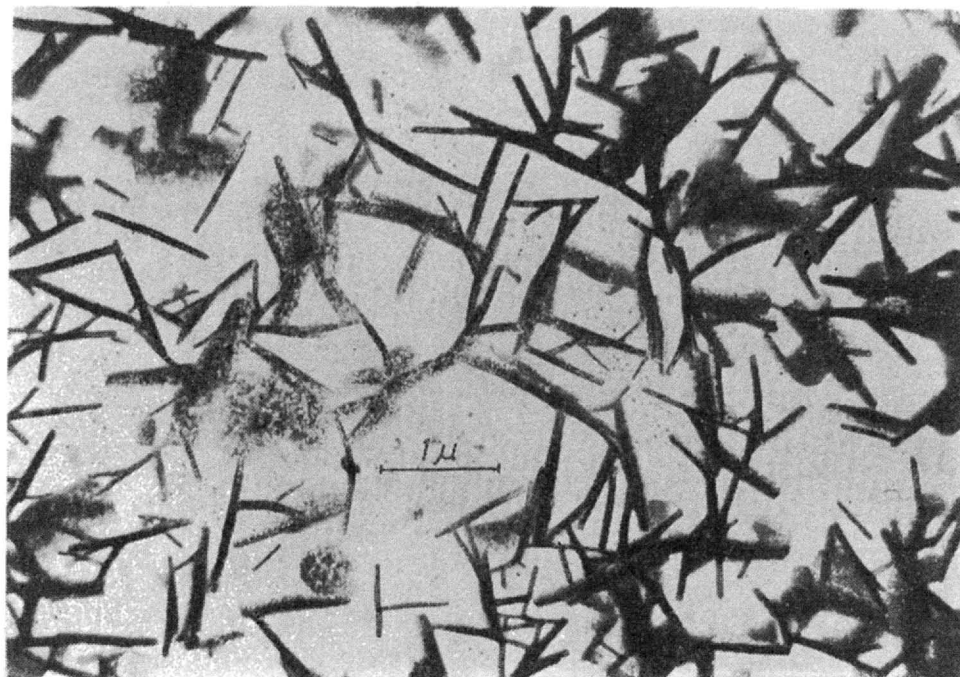


Fig. 10

Alina KABATA-PENDIAS — Minerale wtórne w anortozytach i norytach intruzji suwalskiej

### TABLICA III

- Fig. 11. Mikrofotografia minerałów jak na fig. 10 wykazuje pierzasto ułożone listewki nontronitu  
The electron micrograph of the minerals as in Fig. 10, showing the bundles of the feather laths of nontronite
- Fig. 12. Ciemnozielone minerały wypreparowane ze słabo przeobrażonego norytu (K-25, głęb. 895 m); występują cienkie, rozsypujące się blaszki chlorytu oraz ziarniste skupienia tlenków żelaza  
Dark green minerals separated from the slightly altered norite (K-25, depth 895 m); present small platy particles with irregular borders, perhaps chlorite, with grains of iron oxides

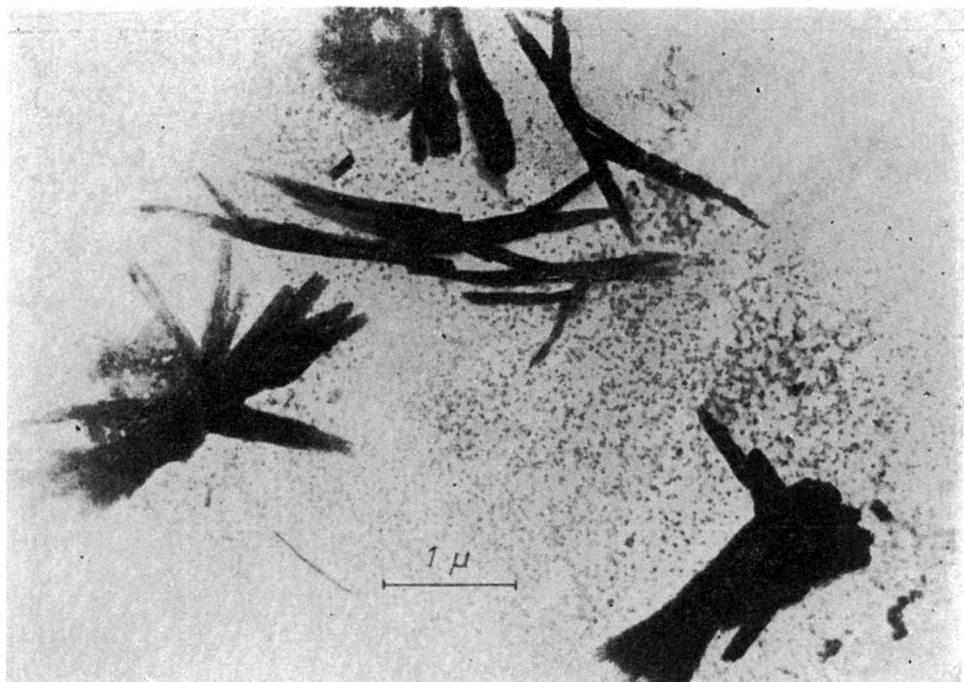


Fig. 11

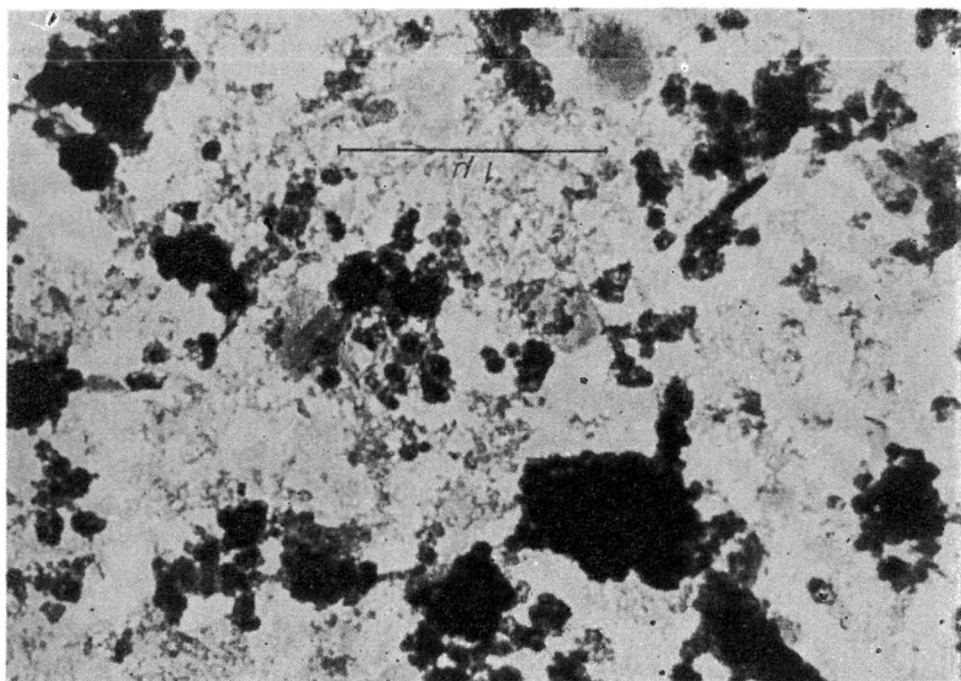


Fig. 12

Alina KABATA-PENDIAS — Minerale wtórne w anortozytach i norytach intruzji suwalskiej