

Bogusław MARCINKOWSKI

## Ewolucja mineralizacji kruszcowej związanej z procesem karbonatytyzacji w masywie Tajna

Pierwotne minerały kruszcowe, do których należą: pirotyt, piryt, ilmenit, chalkopiryt, sfaleryt i galena, związane są genetycznie z matasomatozą alkaliczno-węglanową. W wyniku późniejszych przeobrażeń autometasomatycznych i hydrotermalnych powstały wtórne minerały i fazy mineralne: produkt przeobrażenia pirotytu jako pośrednia faza, mieszanina produktu pośredniego i uwodnionych tlenków żelaza, piryt, markasyt, magnetyt, hematyt, goethyt, lepidokrokit, chalkopiryt, bornit, digenit, kowelin, rutyl i leukoksen. Omówiono sekwencję procesów mineralizacji siarczkowo-tlenkowej, opisano cechy strukturalno-teksturalne zespołów mineralnych i porównano przeobrażenia z procesami opisanymi w wybranych pozycjach literatury.

### WSTĘP

Przedmiotem badań były minerały kruszcowe karbonatytów występujących w alkaliczno-ultrazasadowym masywie Tajna, objętym wieloletnimi pracami badawczymi prowadzonymi przez Państwowy Instytut Geologiczny (S. Kubicki, J. Siemiątkowski, 1966; A. Dziedzic, W. Ryka, 1983; S. Kubicki, W. Ryka, 1987). Na podstawie obserwacji petrograficznych w świetle odbitym podjęto próbę wyjaśnienia form przestrzennego występowania oraz genezy mineralizacji siarczkowo-tlenkowej. W dotychczasowych badaniach karbonatytów stwierdzano obecność siarczków przeważnie bez uwzględnienia ich genetycznych właściwości, co zazwyczaj nie pozwalało określić pochodzenia siarczków w złożonej historii tworzenia się karbonatytów. Większość badaczy wiąże rozwój siarczków z procesem dolomityzacji-amfibolizacji i rozwojem późnych karbonatytów (S.A. Galij, W.M. Korczuk, 1985; J.L. Kapustin, 1965).

## ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Alkaliczno-ultrazasadowy masyw Tajna znajduje się na wyniesieniu mazursko-suwalskim, w okolicy Jez. Tajno, 70 km na północ od Białegostoku. Strop intruzji leży na głęb. ok. 600 m, a jej powierzchnia w ścięciu erozyjnym ma ok. 5 km<sup>2</sup>. Masyw zbudowany jest z dwóch grup skalnych: skał ultrazasadowych, do których należą piroksenity, oraz skał alkalicznych, reprezentowanych przez melanokratyczne foidyity, szonkinity i nefelinowe syenity. W masywie nawiercono znacznych rozmiarów „brekcję intruzyjną”, zbudowaną z ostrokrawędzistych fragmentów piroksenitów spojonych skałami alkalicznymi, oraz różne odmiany skał mieszanych powstałych w wyniku kontaminacji i metasomatozy. W osłonie intruzji występują gnejsy starszych struktur metamorficznych i prawdopodobnie kwarcyty kompleksu biebrzańskiego. Piroksenity i różne odmiany skał alkalicznych poprzecinane są dajkami lamprofirów i mikrosyenitów oraz żyłkami karbonatytowymi o zmiennej grubości i różnych kątach upadu.

## CHARAKTERYSTYKA MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ

Kruszce w karbonatytach tworzą nieregularne skupienia, formy żyłkowe i soczewkowe, a rzadziej rozproszone ziarna. Spośród licznych minerałów kruszcowych występują minerały pierwotne, bezpośrednio związane z żyłową formacją węglanowo-fluorytową, i wtórne, będące produktami autometasomatozy i procesów hydrotermalnych. We wszystkich żyłach karbonatytowych obserwuje się przewagę minerałów siarczkowych nad tlenkowymi. Na podstawie badań mikroskopowych w świetle odbitym wyróżniono następujące minerały kruszcowe i fazy mineralne: pośredni produkt przeobrażenia pirotynu określane nazwą pośredniej fazy (*intermediate phase*), mieszaninę pośredniej fazy z tlenkami lub wodorotlenkami żelaza, piryty (dwóch generacji), markasyt, ilmenit, magnetyt (produkt rozkładu pirotynu), hematyt (powstający w wyniku utlenienia magnetytu oraz występujący w ilmenicie jako faza odmieszania), goethyt, lepidokrokit, chalkopiryty (wydzielony z agregatów pirotynu i młodszej generacji w postaci cienkich żyłek), bornit, kowelin, sfaleryt (marmatyt i cleiofan), galenę, węglan ziem rzadkich (burbankit), rutil i leukoksen. Z tej liczby minerałów tylko część stanowią minerały pierwotne, związane bezpośrednio z metasomatozą alkaliczną, a pozostałe są produktami autometasomatozy i procesów hydrotermalnych. Do minerałów pierwotnych zalicza się: pirotyn, piryty I, ilmenit, chalkopiryty I, sfaleryt, galenę i węglany ziem rzadkich.

### FAZY PRZEOBRAŻENIA PIROTYNU

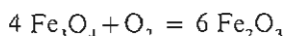
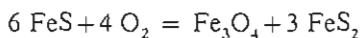
Najpospolitszym minerałem kruszcowym w żyłach karbonatytowych jest piryty i produkty przeobrażenia pirotynu, tzw. faza pośrednia (tabl. I, fig. 3, 4). Stanowią one ok. 90% wszystkich minerałów kruszcowych. Piryty w przeważającej większości jest minerałem wtórnym tworzącym się w wyniku przeobrażenia pirotynu. Współwystępuje z ilmenitem (tabl. V, fig. 20), chalkopirytem, sfalerytem, galeną i wtórnymi siarczkami miedzi (bornit, kowelin, digenit), tworząc wzajemne zrosty (tabl. I, fig. 6; tabl. IV, fig. 17, 18; tabl. V, fig. 19).

W początkowej fazie przeobrażenia pirotynu powstają agregaty fazy pośredniej, zbudowane ze zgrupowań submikroskopijnej wielkości kryształów o przekrojach

kwadratów, rombów, równoległoboków i cechach optycznych zbliżonych do piryty (tabl. I, fig. 4). Przeobrażenie pirotynu w drobnokrystaliczny agregat pirytopodobny powoduje uwolnienie z jego struktury części żelaza, które w postaci mieszaniny tlenków i wodorotlenków oraz prawdopodobnie z mieszaniną produktu pośredniego o barwie szarej gromadzi się między kryształami. W niektórych preparatach obserwuje się zmniejszoną zdolność refleksyjną tego produktu, niższą niż pirotynu, spowodowaną większym udziałem mieszaniny związków żelaza, co dopiero można stwierdzić przy dużych powiększeniach. W dalszym etapie przeobrażeń następuje rekrytalizacja drobnokrystalicznej fazy pośredniej, powodując powstawanie skupień zbudowanych z auto- i hipautomorficznych metakryształów pirytopodobnych (tabl. I, fig. 3, 4). Mieszanina związków żelaza ulega uruchomieniu i następnie wydzielaniu wewnątrz (a także w przestrzeniach między kryształami) zrekrystalizowanych ziarn piryty w postaci fazy o cechach magnetytu (tabl. I, fig. 4, 5). Tworzy ona formy nieregularnych kształtów, a także kropłopodobne, kuliste, groniste, plamiste i robaczkowe. W przestrzeniach między kryształami stanowi masę wypełniającą – rodzaj spoiwa (tabl. I, fig. 3, 5).

Drobnokrystaliczny agregat fazy pośredniej ma wspólne cechy z produktem, który M.T. Einaudi (1971) określa nazwą *intermediate phase*, a H. Schneiderhöhn i P. Ramdohr (1931) *Zwischenprodukt*. Wtórny magnetyt powstały z rozkładu pirotynu ma barwę szarą, jest izotropowy i w dalszym etapie częściowo przeobraża się w hematyt, który cechuje niebiesko-szara barwa, silna anizotropia i nieznacznie większa twardość polerowania niż magnetyt. Tworzy on cienkie obwódki wokół ziarn magnetytu, niekiedy pojawia się wewnątrz magnetytu, a jego granice z magnetytem są najczęściej reakcyjne.

Przeobrażenie pirotynu w fazę pośrednią i magnetyt, a w dalszym etapie w hematyt, można przedstawić za pomocą reakcji:



Proces ten można nazwać powstawaniem wtórnych agregatów pirytowo-markasytowo-magnetytowo-hematytowych po pirotynie (tabl. I, fig. 4). Podobne przeobrażenia pirotynu zostały opisane w złożach Cerro de Pasco i Cobriza w Peru, gdzie faza pośrednia jest obecna jedynie jako zorientowane lamelki w heksagonalnym i jednoskośnym pirotynie. W złożach tych notowane były dwie podstawowe asocjacje. Nieznany siarczek zwykle w postaci cienkich obwódek oddziela pirotyn od piryty lub markasytu. Ten typ występowania szczególnie dobrze rozwinięty jest w złożu Cobriza, gdzie obwódki fazy pośredniej całkowicie otaczają orbikularne pirytowo-markasytowe zrosty w heksagonalnym pirotynie (fig. 1). Produkt pośredni występuje także poza pirytem lub markasytem wzdłuż spękań lub na granicy ziarn pirotynu. W złożu Cerro de Pasco drugi typ rozwinięty jest w większym stopniu w heksagonalnym niż w jednoskośnym pirotynie (fig. 2). Barwa produktu pośredniego w świetle odbitym jest szaro-biała, bardziej szara niż markasytu i jaśniejsza niż pirotynu. Na kontakcie z pirotynem może się rozwijać ciemnoszara substancja, która może być mieszaniną pośredniego produktu i tlenków oraz wodorotlenków żelaza, oddzielająca produkt pośredni od pirotynu heksagonalnego (M.T. Einaudi, 1971).

Podobna ciemnoszara substancja powszechnie obserwowana jest na kontaktach pirotynu i fazy pośredniej w karbonatytach masywu Tajna, ale proces przeobrażenia postępuje dalej, w wyniku czego powstają nowe fazy mineralne. Ciemnoszara substancja ulega przeobrażeniu w magnetyt, wytrącając się wewnątrz ziarn

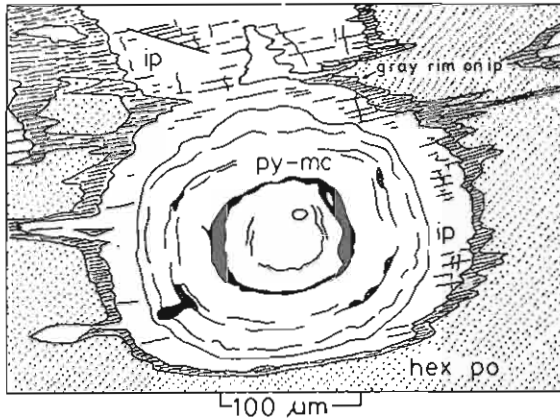


Fig. 1. Pośrednia faza (ip) występująca jako osłona między orbicularnym pirytem – markasytem (py-mc) i pirytytem heksagonalnym (hex po). Cienka otoczka składająca się z mieszaniny produktu pośredniego i tlenków lub wodorotlenków żelaza (gray rim on ip) oddziela produkt pośredni (*sensu stricto*) od heksagonalnego pirytytu

Intermediate phase (ip) occurring as a screen between orbicular pyrite – marcasite (py-mc) and hexagonal pyrrhotite (hex po). A thin envelope consisting of a mixture of the intermediate products and ferric oxides or ferric hydroxides (gray rim on ip) separates the intermediate product (*sensu stricto*) from hexagonal pyrrhotite

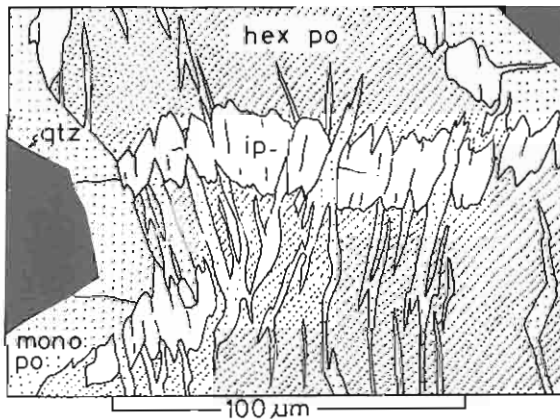


Fig. 2. Pośrednia faza (ip) preferencyjnie zastępuje heksagonalny pirytyt (hex po) w przerostach heksagonalnego i jednoskośnego pirytytu (mono po). Spękania kontynuują się w jednoskośnym pirytycie, lecz produkt pośredni w tej odmianie pirytytu nie rozwija się lub rozwija w bardzo małym zakresie; qtz – kwarc

Intermediate phase (ip) preferentially replaces hexagonal pyrrhotite (hex po) in bends of hexagonal and monoclinic pyrrhotite (mono po). Fractures continue in monoclinic pyrrhotite, the intermediate product in that form of pyrrhotite however does not develop or develops in a very low degree; qtz – quartz

pirytu i między ziarnami, a na jego bokach tworzy się hematyt (tabl. I, fig. 6). W części agregatów nie obserwuje się tych faz obcych, lecz zgrupowania hipauto- i automorficznych kryształów pirytu, często spękanych lub o strukturach rozkruszenia (tabl. I, fig. 4; tabl. II, fig. 9). Ostrokrawędziste, różnokształtne ziarna tworzą się w wyniku resorpcji skupień pirytowych przez minerały płonne. Niekiedy w skupieniach rozwija się proces markasytyzacji w postaci lamelkowych struktur poprzerastanych minerałami płonnymi (tabl. II, fig. 7). Czasem między

lamelkami spotyka się sfaleryt. Jest to zastępowanie mineralizacji powstałej w I lub II etapie karbonatyzacji przez węglany z kruszcami III etapu karbonatyzacji (A. Dziedzic, W. Ryka, 1983; S. Kubicki, W. Ryka, 1987).

Pośród charakterystycznych struktur pirotynu, pirytu i fazy pośredniej, tworzących się w wyniku przeobrażeń i zastępowania, można wymienić struktury krystalograficzne (tabl. II, fig. 8), otoczek (tabl. II, fig. 10), zastępowania (tabl. III, fig. 11), sitowe i szkieletowe (tabl. III, fig. 12, 13, 14), koronkowe (tabl. IV, fig. 15), a także kolomorficzne (tabl. V, fig. 22). Struktury krystalograficzne powstają przez zastępowanie pirotynu fazą pośrednią wzdłuż kierunków krystalograficznych. Struktury reliktowe tworzą się przez zastępowanie pirotynu przez minerały płonne, głównie zewnętrznych części ziarn. Zrosty pirotynu z minerałami płonnymi o izometrycznych kształtach powodują powstawanie struktury sitowej, a w wyniku wyparcia pirotynu z zewnętrznych części ziarn (w agregatach, żyłkach i większych skupieniach) tworzą się struktury koronkowe, które postępująca absorbcja zamienia w struktury szkieletowe. Struktury otoczek powstają w wyniku tworzenia się cienkich obwódek fazy pośredniej na zewnątrz ziarn pirotynu, które z kolei otacza obwódka pirytowa. W strefach, w których wpływ czynników późnohydrotermalnych był większy, w agregatach pirotynowych na zewnątrz ziarn powstają obwódki goethytu lub goethyt korozyjnie zastępuje piryt. Szczególnie w silnie rozkruszonych czy spękanych agregatach pirytu goethyt otaczając ziarna pirytu tworzy rodzaj spoiwa (tabl. III, fig. 11). Proces ten może się rozwijać do etapu, w którym w agregatach przeważają tlenkowe związki żelaza. W kilku przypadkach w takich agregatach, w niebiesko-szarym goethycie stwierdzono jasnoszare, plamiste, nieregularne formy o cechach optycznych lepidokrokitu (tabl. IV, fig. 16). Lepidokrokite stwierdzono tylko w próbkach, w których goethyt występuje w dużych ilościach.

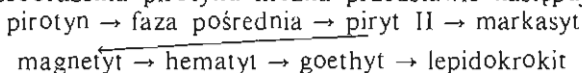
W niektórych próbkach notowany jest piryt bez faz obcych, stanowiący większe ziarna i w mniejszym stopniu spękany niż piryt popirotynowy. Można przypuszczać, że jest to piryt pierwotny (I generacji), powstający w pierwszej fazie karbonatyzacji (A. Dziedzic, W. Ryka, 1983). Ten typ pirytu także ulega przeobrażeniu w goethyt. Zaokrąglone formy pirytu i pirotynu, które niejednokrotnie spotykano, mogą świadczyć o ich powstawaniu w głębszych partiach zbiornika magmowego i wyniesieniu w czasie wznoszenia się tworzywa węglanowego, co sugeruje inny typ genetyczny takich form (S.A. Galij, W.M. Korczuk, 1985).

Pirotyn jest najczęściej składnikiem agregatów pirotynowo-piryto-markasytowych i fazy pośredniej, w których stanowi reliktowe formy, najczęściej zajmując ich centralne części. W niektórych preparatach przeobrażeń pirotynu nie obserwuje się i w takich przypadkach stanowi on zgrupowanie różnie zorientowanych tabliczek. Niekiedy tabliczki są silnie wydłużone, charakterystycznie powyginane, układające się w struktury pni i gałęzi. W pojedynczych przypadkach pirotyn tworzy automorficzne pojedyncze kryształy, a także ziarna zaokrąglone, owalne i elipsoidalne. Te ostatnie formy, stwierdzone w najwcześniejszych prawie monomineralnych, kalcytowych karbonatytach, można objaśnić pierwotną magmową naturą siarczku żelaza. To stwierdzenie wysuwane jest na podstawie jednoznacznej interpretacji ontogenezy kropłopodobnych i kulistopodobnych form, stwierdzonych w skałach magmowych i w kimberlitach (W.A. Wachruszew, 1980).

Zewnętrzne części ziarn pirotynu są niekiedy otoczone cienką obwódką markasytu, który z reakcyjnymi granicami stopniowo zastępuje pirotyn. Pojawiają się także drobne, zaokrąglone formy markasytu wewnątrz ziarn pirotynu, stopniowo rozszerzające się i zastępujące pirotyn od wewnątrz. Pirotyn podobnie jak piryt wchodzi w skład niewielkich agregatów, zrastając się z galeną, ilmenitem, sfale-

rytem i chalkopirytem.

Schemat przeobrażenia pirotynu można przedstawić następująco:



#### ASOCJACJA PIROTYN - FAZA POŚREDNIA - PIRYT - MARKASYT - ILMENIT

Dość powszechną asocjację w karbonatytach masywu Tajna tworzą: pirotyn, faza pośrednia, piryty, markasyt i ilmenit (tabl. V, fig. 20, 21). Są to zrosty siarczków żelaza z listewkowo i tabliczkowo wykształconym ilmenitem. Tabliczki i listewki ilmenitu w tych agregatach ułożone są bezładnie w postaci pojedynczych osobników lub tworzą zgrupowania nieregularnych kształtów. Niekiedy obserwuje się większe nagromadzenia tabliczek ilmenitu i ich ściślejsze upakowanie (zlep tabliczek). Ilmenit występujący w żyłach karbonatytowych tworzy dobrze wykształcone auto- i hipautomorficzne osobniki o cechach optycznych i wykształceniu strukturalno-teksturalnym podobnym do ilmenitu II generacji występującego w piroksenitach. W niewielkich ilościach ilmenit zawiera wrostki piryty i chalkopiryty. W pojedynczym przypadku stwierdzono występowanie żyłki prawie całkowicie zbudowanej z tabliczek ilmenitu z niewielkim udziałem węglanów w interstycjach. Niekiedy tabliczki ilmenitu są nieznacznie na bokach skorodowane i częściowo ulegają przeobrażeniu w minerały rutylopodobne. Sporadycznie w ilmenicie spotyka się odmieszania hematytu (tabl. V, fig. 21). Ilmenity są niobonośne.

#### CHALKOPIRYT

Chalkopiryty najczęściej występują w postaci ksenomorficznycy ziarn na zewnątrz agregatów zbudowanych z pirotynu, fazy pośredniej i piryty, rzadziej wewnątrz tych skupień, a także tworzą odosobnione ziarna w sąsiedztwie zgrupowań siarczkowych. W skupieniach granice zrostów chalkopiryty z innymi siarczkami są nieregularne i nieostre. Niejednokrotnie obserwuje się stopniowe przechodzenie pirotynu, fazy pośredniej i piryty w chalkopiryty. Znajduje to wyraz w stopniowej zmianie barwy na granicach zrostów od bładożółtej do żółtej. W tych przypadkach obserwowany jest wyraźny związek chalkopiryty z pirotynem i produktami jego przeobrażenia, a odosobnienie chalkopiryty następuje w wyniku procesów deuterycznych (S. Kubicki, J. Siemiątkowski, 1979).

Chalkopiryty współwystępują z innymi siarczkami miedzi jak bornit, chalkozyn, digenit, kowelin. Notowane są one w niewielkich ilościach; są genetycznie związane z chalkopirytem i powstają jego kosztem w wyniku działalności późnohydrotermalnej. Sporadycznie spotyka się emulsyjne odmieszczania chalkopiryty w sfalerycie i cienkie obwódki chalkopiryty wokół ziarn sfeleryty. Chalkopiryty wnika także w spękania ziarn sfaleryty (tabl. V, fig. 19).

#### SFALERYT

Sfaleryty tworzą zgrupowania izometrycznych ziarn, często z emulsyjnymi odmieszczaniami chalkopiryty, a także zawiera wrostki piryty i pirotynu w postaci nieregularnych lub zaokrąglonych form (tabl. IV, fig. 18). Pospolite są zrosty z pirytem, galeną, pirotynem i chalkopirytem (tabl. IV, fig. 17). Minerale te tworzą niewielkie skupienia, w których udział poszczególnych składników jest zmienny. Spotyka się liczne, pojedyncze, nieregularnych kształtów lub izo-

metryczne ziarna. W kilku przypadkach stwierdzono ziarna sfalerytu, w których centralne części mają odcień brązowo-żółtawy (marmatyt) z widoczną anizotropią i charakterystycznymi łamelkowymi, polisyntetycznymi zbliżnieniami, przebiegającymi przez całe ziarna, natomiast części zewnętrzne zbudowane są z cleiofanu. Ziarna te zawierają sporą ilość emulsyjnych odmieszkań chalkopirytu.

#### GALENA

Galena występuje sporadycznie najczęściej jako pojedyncze izometryczne ziarna. Niekiedy tworzy zrosty ze sfalerytem, siarczkami miedzi, pirotytem i pirytem. Spotykana jest również w postaci wrostków w piryty i pirotynie. Podobne asocjacje, lecz o bogatszym zestawie minerałów siarczkowych, obserwowane były w karbonatytach Półwyspu Kolskiego (O.B. Dudkin i in., 1984).

#### WĘGLANY ZIEM RZADKICH

Żyły karbonatytowe z fluorytem i mineralizacją siarczkową zawierają niewielkich rozmiarów zgrupowania węglanów barwy ciemnobrązowej, a w świetle odbitym szarej, o niższej od kalcytu zdolności refleksyjnej i silnej anizotropii. W węglanach tych obserwuje się silne refleksy wewnętrzne, lecz słabsze niż w kalcytycie. Prawdopodobnie maskowane wtórnymi związkami żelaza. Brunatny węglan (burbankit) wykształcony jest w postaci kryształów tworzących zgrupowania bezładnie rozmieszczonych zrastających się tabliczek. W zgrupowaniach tych interstycje wypełnia skrytokrystaliczna, ciemnobrunatna substancja o cechach węglanów, będąca mieszaniną węglanów i wodorotlenków żelaza.

Zakład Geologii Ziół Rud Metali  
Państwowego Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
Nadesłano dnia 6 czerwca 1988 r.

#### PIŚMIENNICTWO

- DZIEDZIC A., RYKA W. (1983) – Carbonatites in the Tajno intrusion (NE Poland). Arch. Miner., 38, p. 4–34, z. 2.
- EINAUDI M.T. (1971) – The intermediate product of pyrrhotite alteration. Econ. Geol., 61, nr 4.
- KUBICKI S., SIEMIĄTKOWSKI J. (1966) – Minerale kruszcowe skał podłoża krystalicznego NE Polski w otworach Tajno 1, 2, 3, 5, 6, Klusy, Prostki i Augustów. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KUBICKI S., SIEMIĄTKOWSKI J. (1979) – Mineralizacja kruszcowa suwalskiego masywu zasadowego. Biul. Inst. Geol., 316, p. 5–136.
- KUBICKI S., RYKA W. (1987) – Carbonatites of the alkaline-ultramafic intrusion of Tajno. W: Proceedings of the first seminar on carbonatites and alkaline rocks of the Bohemian massif and ambient regions. Prague.
- SCHNEIDERHÖHN H., RAMDOHR P. (1931) – Lehrbuch der Erzmikroskopie. 2. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- ВАХРУШЕВ В.А. (1980) – Рудные минералы изверженных пород. Наука, Новосибирск.

- ГАЛИЙ С.А., КОРЧУК В.М. (1985) — Генетические особенности сульфидов из карбонатитов Украинского щита. Минер. Журн., 7, №5. Киев.
- ДУДКИН О.Б. и др. (1984) — Карбонатиты Хибин. Апатиты.
- КАПУСТИН Ю.Л. (1965) — Петрология и химические особенности комплекса ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов. Наука. Москва.

Богуслав МАРЦИНКОВСКИ

### ЭВОЛЮЦИЯ ОРУДЕНЕНИЯ СВЯЗАННОГО С ПРОЦЕССОМ КАРБОНАТИТИЗАЦИИ МАССИВА ТАЙНО

#### Резюме

В работе представлены результаты исследований оруденения, связанного с карбонатитами в алкалично-ультраосновном массиве Тайно. Первичные рудные минералы, к которым относятся: пирит, пирротин, ильменит, халькопирит, сфалерит, галенит, генетически связанные с алкалично-карбонатным метасоматизмом, подвергнуты видоизменению в результате поздних аутометасоматических и гидротермальных процессов. В большей степени видоизменению подвергся пирротин, из которого образовался ряд минералов и минеральных фаз. Распад пирротина начался в результате образования промежуточной фазы, т.н. *intermediate phase* (М.Т. Эйнауи, 1971), с оптическими свойствами подобными пириту, с выделением железа в виде смеси гидратированных окислов железа. На следующем этапе видоизменений наступает рекристаллизация промежуточной фазы (образуются метакристаллы пирита), а с гидратированных окислов железа образуется продукт, имеющий свойства магнетита. Метакристаллы пирита преобразуются в марказит, создавая пластинчатые структуры проросшие безрудными минералами. Магнетит в небольшой степени, особенно на боках зерен, преобразуется в гематит, который затем заменяется гетитом и лепидокрокитом.

Первичный пирит образовывается на этапе карбонатитизации (А. Дзедзиц, В. Рыка, 1983), подвергаясь видоизменению во вторичные окислы железа типа гетита-пепидокрокита. Характерной ассоциацией образуют группировки плиток и пластинок ильменита с пирротинном, *intermediate phase*, пиритом, марказитом и вторичными окислами железа. Редко выступает сульфид меди (халькопирит, борнит, дигенит и ковеллин), который входит в состав группировок, образованных из продуктов распада пирротина. Первичным минералом является халькопирит. В значительном количестве, в двух видах (марматит и клейофан) выступает сфалерит и спорадически галенит.



Bogusław MARCINKOWSKI

EVOLUTION OF THE ORE-MINERALIZATION, CONNECTED WITH THE  
CARBONATITIZATION PROCESS IN THE TAJNO MASSIF

S u m m a r y

Results from the ore mineralization tests connected with carbonatites in the alkaline-ultrabasic massif of Tajno are presented. Primary ore minerals such as pyrite, pyrrhotite, ilmenite, chalcopyrite, sphalerite, galena are genetically connected with the alkaline-carbonate metasomatism subject to alternation, resulted in later autometasomatic and hydrothermal processes. Pyrrhotite, of which a series of minerals and mineral phases developed, is subject to alternation in the highest degree. Decomposition of pyrrhotite is initiated with the intermediate phase (M.T. Einaudi, 1971) with optical characteristics approximated ones of pyrite, with enducing of iron in a form of the hydrated ferric oxides mixtures. Recrystallization of the intermediate phase goes next (metacrystals pyrite are forming) and a product of characteristics of magnetite originates from the hydrated ferric oxides. Sometime the pyrite metacrystals are subject to alternation into marcasite, forming lamellar texture intergrowing with sterile minerals. Magnetite is subject to alternate into haematite in an unimportant degree, particularly on the sides of the grains. Then haematite is replaced by goethite and lepidocrocite.

Pyrite of the first generation, forms in the first stage of carbonatitization (A. Dziedzic, W. Ryka, 1983) and also is subject to alternation into secondary ferric oxide of the goethite-lepidocrocite-type. Characteristic association is forming by groups of plates and slips with pyrrhotite, intermediate phase, pyrite, marcasite, and secondary ferric oxides. Cooper sulfides (chalcopyrite, bornite, digenite and covellite) occur in small numbers, they enter into the composition of groups built of products of the pyrrhotite decay. Chalcopyrite is a primary mineral. Sphalerite in two forms (marmatite and cleiophane) occurs in rather large numbers, and galena – occasionally.

#### TABLICA I

Fig. 3. Fazy przeobrażenia pirotynu. Pośrednia faza (ip) *intermediate phase* z domieszką tlenków i wodorotlenków żelaza (ip + Fe), metakryształy pirytu (py) i relikty pirotynu (po). Pow. 42 ×

Phases of pyrrhotite transformation. Intermediate phase (ip), intermediate phase with a admixture of ferric oxides and ferric hydroxides (ip + Fe), metacrystals of pyrite (py) and relicts of pyrrhotite (po). × 42

Fig. 4. Fazy przeobrażenia pirotynu – etap z wydzieleniem magnetytu. Submikroskopijnej wielkości kryształy, faza pośrednia (ip), reliktowe ziarna pirotynu (po), zrekrytalizowany piryt (py) i ziarna magnetytu (mgt). Pow. 42 ×

Phases of pyrrhotite transformation – a stage with the magnetite enducing. Intermediate phase (ip) crystals of submicroscopic magnitude, relict grains of pyrrhotite (po), recrystalized pyrite (py) and grains of magnetite (mgt). × 42

Fig. 5. Fazy przeobrażenia pirotynu. Zrekrytalizowany agregat pirytu (py) z wydzielonymi ziarnami magnetytu (mgt). Na bokach mieszanina tlenków i wodorotlenków żelaza oraz fazy pośredniej (ip + Fe). Pow. 215 ×

Phases of pyrrhotite transformation. Recrystalized aggregate of pyrite (py) with enduced magnetite grains (mgt). Mixture of ferric oxides and ferric hydroxides and intermediate phase (ip + Fe) on other sides. × 215

Fig. 6. Struktury rozkruszenia pirytu (py) w zrostach ze sfaleritem (sf), galeną (g) i pirotynem (po). Pow. 90 ×

Structures of pyrite shattering (py) in the intergrowths with sphalerite (sf), galena (g) and pyrrhotite (po). × 90

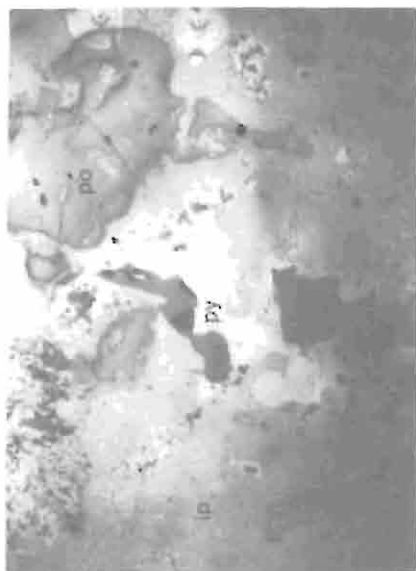


Fig. 4



Fig. 6

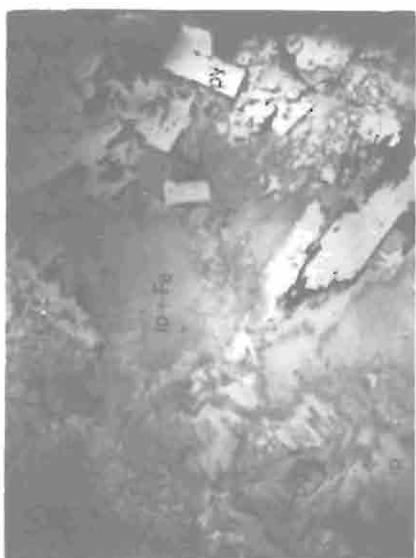


Fig. 3

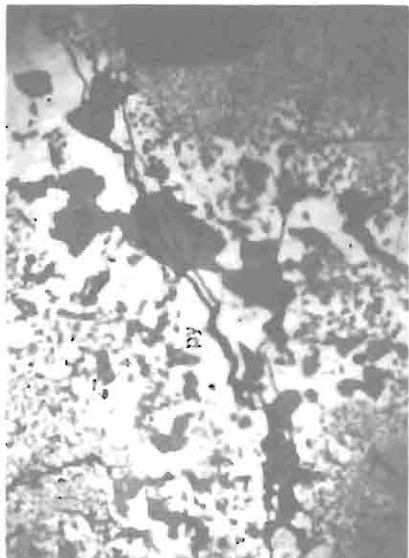


Fig. 5

Bogusław MARCINKOWSKI – Ewolucja mineralizacji kruszczowej związanej z procesem karbo-  
nатыzacji w masywie Tajna

## TABLICA II

Fig. 7. Lamelkowe struktury piryto-marksytowe poprzerastane minerałami płonnymi. Pow. 90 ×

Lamellar pyrite-marcasite structures intergrown with sterile minerals. × 90

Fig. 8. Krystalograficzne struktury fazy pośredniej (ip) w pirotynie (po). Pow. 42 ×

Crystallographic structures of intermediate phase (ip) in pyrrhotite (po). × 42

Fig. 9. Struktury rozkruszania pirytu (biały) w sąsiedztwie automorficznych ziarn sfalerytu (szary).

Pow. 90 ×

Structures of pyrite (white) shattering in the neighbourhood of automorphic grains of sphalerite (grey).

× 90

Fig. 10. Struktury otoczek wokół ziarna pirotyny. Ziarna pirotyny z obwódką pośredniej fazy; zewnętrzną obwódkę stanowi piryt. Pow. 42 ×

Structures of envelopes around the pyrrhotite grain. Pyrrhotite grain with an envelope of intermediate phase. Outer envelope is composed of pyrite. × 42



Fig. 8

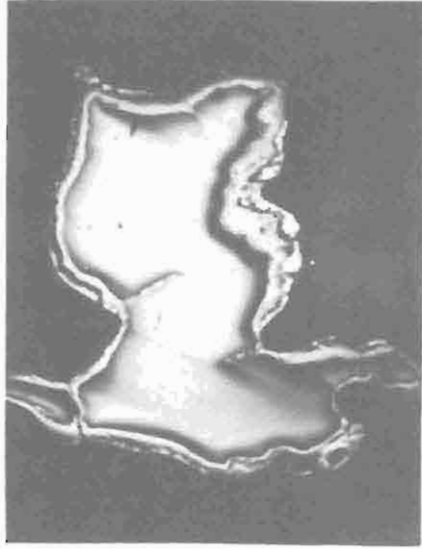


Fig. 10

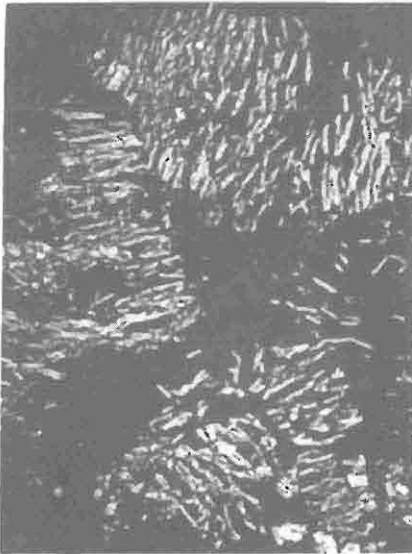


Fig. 7

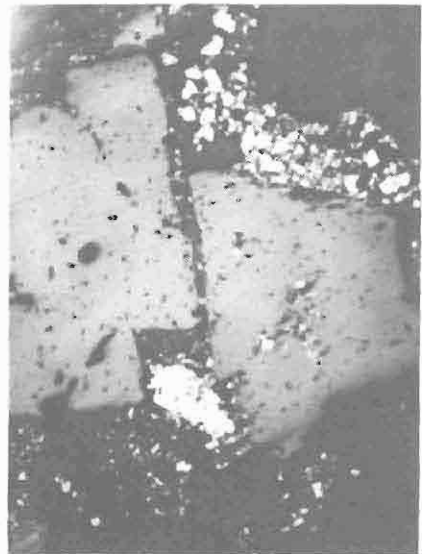


Fig. 9

Bogusław MARCINKOWSKI – Ewolucja mineralizacji kruszcowej związanej z procesem karbo-  
natytyzacji w masywie Tajna

### TABLICA III

Fig. 11. Struktury zastępowania pirytu (biały) przez tlenki i wodorotlenki żelaza (ciemnoszare). Pow. 90 ×  
Structures of replacement of pyrite (white) by ferric oxides or ferric hydroxides (dark-grey). × 90

Fig. 12. Struktury szkieletowe pirytu. Pow. 90 ×

Skeletal structures of pyrite. × 90

Fig. 13. Struktury szkieletowe zbudowane z pirytu (jaśniejsze) i goethytu (ciemniejsze). Pow. 42 ×

Skeletal structures built of pyrite (light) and goethite (dark). × 42

Fig. 14. Struktury krystalograficzno-szkieletowe zbudowane z pośredniej fazy, powstałe z przeobrażenia pirotytynu. Pow. 42 ×

Crystallographical-skeletal structures built of intermediate phase, originated from alternation of pyrrothite. × 42

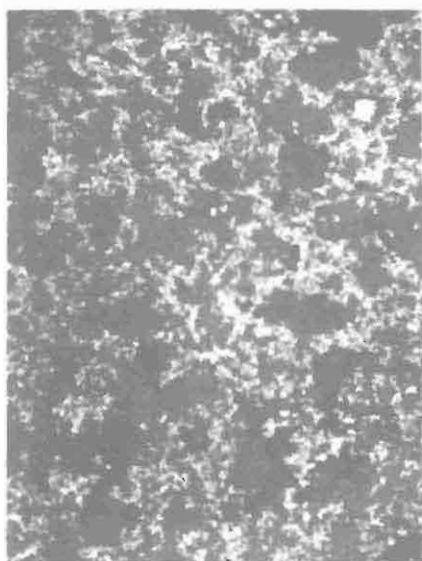


Fig. 12

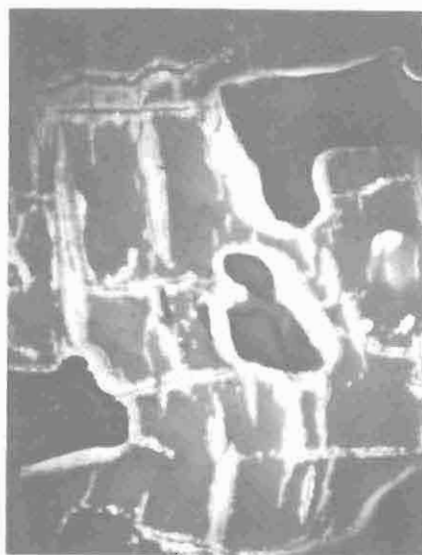


Fig. 14

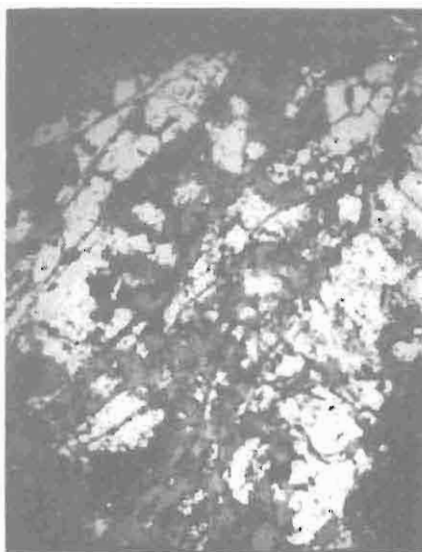


Fig. 11

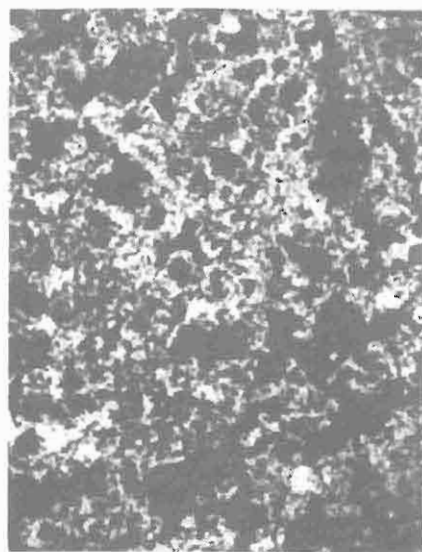


Fig. 13

Bogusław MARCINKOWSKI – Ewolucja mineralizacji kruszczowej związanej z procesem karbonatyzacji w masywie Tajna

TABLICA IV

Fig. 15. Struktury koronkowe w pirycie. Pow. 42 ×

Lace structures in pyrite. × 42

Fig. 16. Goethyt (gt – ciemnoszary) powstały z przeobrażenia pirytu (py) z plamistymi formami lepidokrokitu (jasnoszare). Reliktowy piryt (py) wewnątrz zawiera nieregularne formy goethytu. Pow. 90 ×  
Goethite (gt – dark-grey) originated from alteration of pyrite (py) with spotted forms of lepidocrocite (light grey). Relict pyrite (py) comprises irregular forms of goethite. × 90

Fig. 17. Zrosty pirytu (py) z galeną (g). Pow. 90 ×

Intergrowths of pyrite (py) with galena (g). × 90

Fig. 18. Przerosty pirytu (biały) w sfalerycie (szary). Pow. 90 ×

Intergrowths of pyrite (white) in sphalerite (grey). × 90



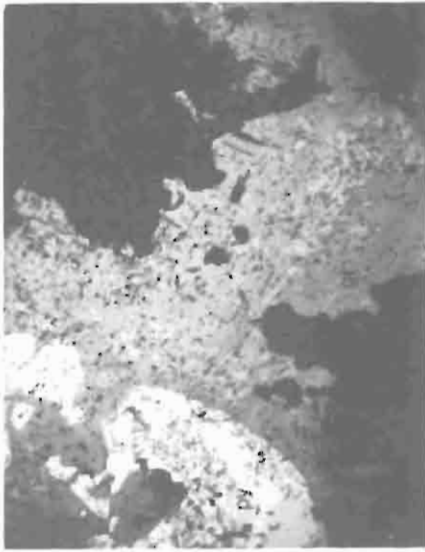


Fig. 16

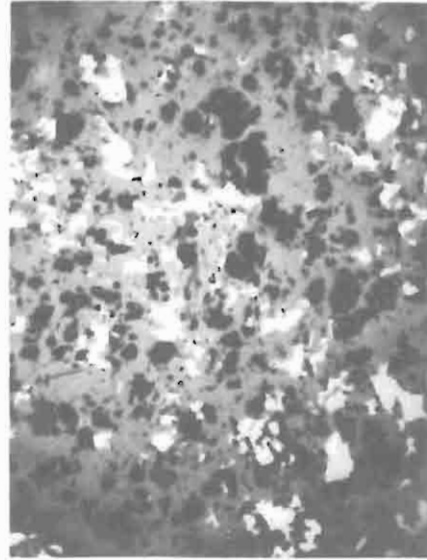


Fig. 18

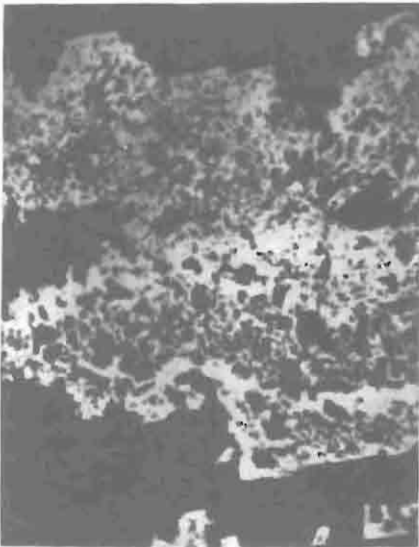


Fig. 15

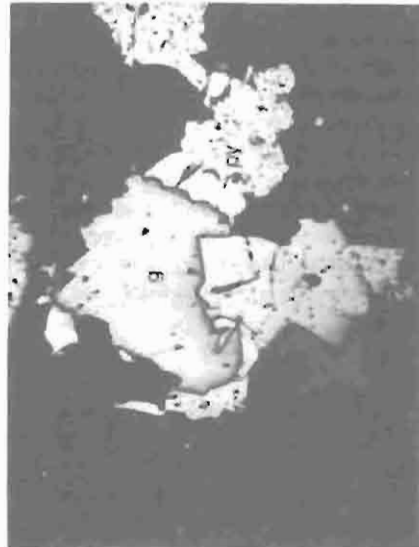


Fig. 17

Bogusław MARCINKOWSKI – Ewolucja mineralizacji kruszcowej związanej z procesem karbo-  
natyzacji w masywie Tajna

#### TABLICA V

Fig. 19. Dwie odmiany sfalerytu: marmatyt (m), cleiofan (c) w zrostach z pirytem (py). Wewnątrz ziarna sfalerytu emulsyjne odmieszania pirytu, strzałki chalkopiryty, wrostki galeny (g) i otoczki bornitu (b). Pow. 90 ×

Two varieties of sphalerite: marmatite (m), cleiophane (c) in intergrowths with pyrite (py). Emulsive mixing of pyrite, arrows of chalcopyrite, intergrowths of galena (g) and envelopes of bornite (b) inside the sphalerite grain. × 90

Fig. 20. Agregat ilmenitowo-pirytowy zbudowany z listewkowo-tabliczkowych kryształów ilmenitu II generacji (szary) i ksenomorficznych ziarn pirytu (biały). Wewnątrz pirytu rozwijają się wtórne tlenki żelaza (jasnoszare). Pow. 48 ×

Ilmenite-pyrite aggregate composed of lamellar-tabular crystals ilmenite of the second generation (grey) and xenomorphic grains of pyrite (white). Secondary ferric oxides develop inside pyrite. × 48

Fig. 21. Przerosty tabliczkowo wykształconego ilmenitu (jasnoszary) z pirytem (biały). Pow. 48 ×  
Tabular intergrowths of ilmenite developed with pyrite (white). × 48

Fig. 22. Kolomorficzne struktury tlenków i wodorotlenków żelaza. I N. Pow. 90 ×  
Colomorphic structures of ferric oxides and ferric hydroxides. I N. × 90

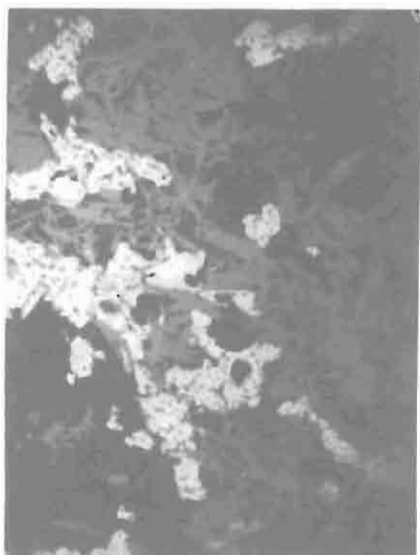


Fig. 20

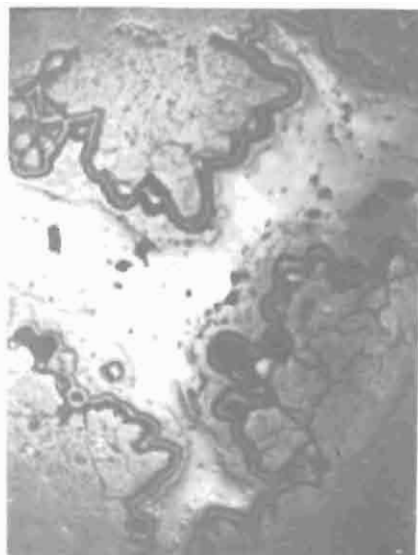


Fig. 22

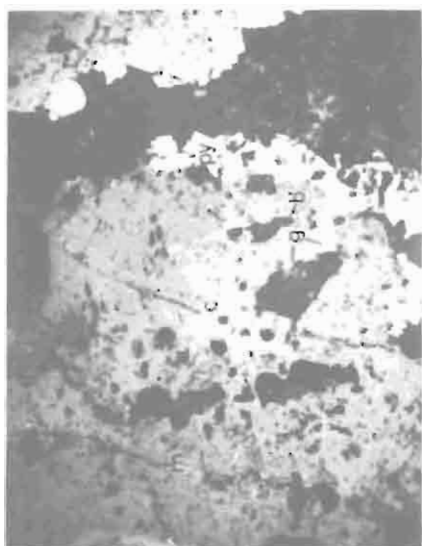


Fig. 19



Fig. 21

Bogusław MARCINKOWSKI – Ewolucja mineralizacji kruszczowej związanej z procesem karbonatyzacji w masywie Tajna