

EUGENIA ZIMNOCH

Uniwersytet Warszawski

KOMPLEKSOWE METODY BADAWCZE W GEOLOGII ZŁÓŻ KRUSZCOWYCH

UKD 553.3/4.086:[535—92+535—4]

Nauka o złożach zajmuje się badaniem złóż kopalin użytecznych kruszcowych i niekruszcowych, ich rozmieszczeniem, klasyfikacją, formą, budową i pochodzeniem. Głównym zadaniem tej nauki jest ustalenie warunków powstawania różnych typów złóż kopalin użytecznych oraz ustalenie prawidłowości rozprzestrzenienia złóż w skorupie ziemskiej, w celu określenia w jakich warunkach geologicznych można oczekiwać ich występowania.

Oprócz tych dwóch głównych problemów nauka o złożach rozwiązuje równocześnie szereg zagadnień dotyczących przestrzennego układu i morfologii złóż kopalin użytecznych, współwystępowania i wiekowych stosunków składników mineralnych tworzących złoża (paragenez mineralnych), tektoniki, metamorfizmu rud itp.

Poznanie składu i cech technologicznych surowca mineralnego zarówno złóż kruszcowych i niekruszc-

wych ma ważne znaczenie, zwłaszcza przy przemysłowym wykorzystaniu rud kompleksowych, z których wydobywa się kilka cennych składników.

Zarówno skały, jak i złoża są przejawami tych samych procesów geologicznych zachodzących w skali ziemskiej, przy czym prawidłowości powstawania minerałów nierzadko są wspólne dla procesów petrogeny i powstawania kopalni.

Wychodząc z tego stwierdzenia zdawałoby się, że metody badań surowców użytecznych i skał powinny być wspólne, jednakże przeważająca część surowców, z wyjątkiem niektórych szeroko rozprzestrzenionych surowców nierudnych, wyraźnie odróżnia się od typowych przedstawicieli skał, co przede wszystkim zaznacza się w różnicy ich składu mineralnego, cechach morfologicznych i wiekowych stosunkach części składowych. W wyniku tego przy badaniach złóż surowców mineralnych geologia złóż wykorzystując zdobycze innych dyscyplin geologicznych (mineralogii, petrografii, geologii dynamicznej i historycznej, geochemii, geofizyki) dysponuje własnymi metodami, głównie dla ustalenia asocjacji paragenetycznych przy badaniu złóż kruszcowych, a także dla określenia własności technologicznych surowców zarówno metalicznych, jak i niemetalicznych.

Na współczesnym etapie nauki i postępu technicznego ważnym zadaniem jest kompleksowe wykorzystanie rud o niskiej zawartości metali i maksymalne zmniejszenie strat surowców przy ich wydobyciu i przeróbce.

W Zakładzie Geologii i Ekonomiki Złóż Wydziału Geologii UW specjalizacja w zakresie geologii złóż kruszcowych rozpoczęła swoją działalność przed 10 laty i nastawiona jest głównie na opracowywanie tematów dotyczących okruszcowania pod kątem genetycznym. Główną metodą badania rud jest szeroko pojęta mikroskopia kruszcowa. Mikroskopię kruszcową — badanie minerałów w świetle odbitym — stosuje się przy określaniu składu mineralnego rudy oraz ustalaniu ilościowych zależności między poszczególnymi składnikami kruszcowymi i minerałami płonnymi. Przy jej pomocy można zbadać rudy i ustalić metody ich wzbogacania. Podobnie jak każda metoda, mikroskopia kruszcowa jest najbardziej efektywna w połączeniu z innymi metodami dopełniającymi, wśród których są: spektralne, chemiczne, rentgenowskie itp. W diagnostyce minerałów rudnych w świetle odbitym stosuje się zespół metod służących do badania ich cech fizycznych i chemicznych. Cechy fizyczne minerałów kruszcowych dzieli się na cechy optyczne, do których wchodzi: barwa, zdolność refleksyjna, dwójodblicie, efekt polaryzacji (izotropia, anizotropia), wewnętrzne refleksy oraz właściwe cechy fizyczne — twardość, magnetyzm, łupliwość, pokrój, przewodnictwo elektryczne itp. Cechy chemiczne minerałów kruszcowych bada się metodami mikrochemicznymi z zastosowaniem trawienia diagnostycznego i strukturalnego oraz mikrochemicznej analizy jakościowej i ilościowej.

Badania minerałów kruszcowych zwykle zaczynają się od określenia ich cech optycznych i fizycznych, z których główne, to: barwa, zdolność refleksyjna i twardość, a także wybiórczo stosuje się metody mikrochemiczne. Wykorzystuje się także szeroko dodatkową cechę diagnostyczną minerałów — paragenety.

Barwa minerału kruszcowego w świetle odbitym jest ważną cechą diagnostyczną. Określa się ją w mikroskopie, jakościowo w porównaniu z barwą minerału wzorca w świetle białym (galenitem, sfalerytem, chalkopirytom, pirytem) oraz ilościowo wg maksymalnej zdolności refleksyjnej w świetle o różnych barwach.

Dokładność określenia wizualnego barwy minerału zdobywa się po dłuższej praktyce i wymaga ona doświadczonego oka. Im więcej pracuje badacz ze szlifami w świetle odbitym, tym lepszym staje się on diagnostą. Oko człowieka posiada dużą zdolność rozpoznawania bardzo małych różnic w barwie i jej

intensywności w przypadku obserwowania obiektów bezpośrednio kontaktujących. Barwa minerału w powietrzu różni się od barwy minerału w cieczach immersyjnych. Dla jednych minerałów takie różnice w barwie są nieznaczne, dla innych duże.

Zdolność refleksyjna — współczynnik odbicia światła — jest to zdolność polerowanej powierzchni minerału do odbijania określonej ilości padającego na nią światła. Minerale kruszcowe mają dużą zdolność refleksyjną w przeciwieństwie do minerałów nierudnych. Jakościowo ocenia się zdolność refleksyjną w szlifie przez wizualne porównanie badanego minerału z innymi leżącymi obok. Na wielkość współczynnika odbicia światła duży wpływ ma jakość poleru. Przy dużej ilości pęknięć, zadrapań i porowatości powierzchni polerowanego minerału obniża się ona o kilka procent. Wizualne określenie zdolności refleksyjnej minerałów intensywnie barwnych przeprowadza się przy użyciu kolorowych filtrów, aby przy obserwacji usunąć wpływ barwy minerału na wielkość zdolności refleksyjnej. Współczynnik odbicia światła ilościowo mierzy się na mikrofotometrach albo elektrofotometrach. Na wszystkich aparatach pomiary przeprowadza się metodą porównania z naturalnymi minerałami — wzorcami (platyna, piryt, galenit, sfaleryt) albo wzorcami sztucznymi. Dokładność zdolności refleksyjnej mierzona na aparatach waha się w granicach od 1 do 2%.

Podczas obserwacji minerałów kruszcowych przy nicholach skrzyżowanych określa się najważniejsze cechy diagnostyczne minerałów, do których należy **izotropia** i **anizotropia**. Badając efekty anizotropii u niektórych minerałów można wykryć zbliźniczenie i budowę strefową minerałów.

Jedną z cech charakterystycznych o dużym znaczeniu diagnostycznym jest **dwójodblicie**, a także **wewnętrzne refleksy** obserwowane w niewielkiej grupie minerałów półprzezroczystych i przezroczystych przy nicholach skrzyżowanych.

Z cech fizycznych minerałów główną cechą diagnostyczną stanowi ich twardość. Jednakże dla tych samych minerałów może ona być różna w zależności od kierunków krystalograficznych.

Magnetyzm jest cechą charakterystyczną dla niewielkiej grupy minerałów kruszcowych. Do silnie magnetycznych należą: rodzime żelazo, magnetyt, magnomagnetyt, franklinit, poliksen, kubanit i inne. Oprócz oznaczeń magnetyzmu minerałów za pomocą igły kompasu i namagnesowanej igły stalowej można również stosować tzw. metodę „proszkografii”. Pozwała ona odróżnić podobne w świetle odbitym minerały magnetyczne, słabo magnetyczne i niemagnetyczne, np. magnetyt — maghemit, jednoskośny pirotyn — heksagonalny pirotyn. Metodę tę stosuje się także przy badaniu struktur rozpadu (magnetyt + ilmenit, pirotyn + pentlandyt).

Metoda magnetycznej proszkografii polega na tym, że na powierzchnię preparatu polerowanego nanosi się zawiesinę proszku elektromagnetycznego (z taśmy magnetofonowej) rozartego dokładnie z 5% roztworem KOH albo z roztworem mydła. Zawiesinę na preparacie trzyma się 1—2 minut, po czym nadmiar zmywa się wodą destylowaną. Po wyschnięciu zawiesiny obraz bada się w świetle odbitym przy jednym nicholu i nicholach skrzyżowanych. Zdjęcie proszku z powierzchni polerowanej szlifę wykonuje się ściereczką zamszową albo przez zmycie spirytusem. Operację można powtarzać wiele razy bez uszkodzenia szlif. Stosując tę metodę O. N. Żerdienko z muzeum geologicznego MGU otrzymała interesujące wyniki.

W diagnostyce może być wykorzystana bardzo charakterystyczna forma kryształów niektórych minerałów. Forma mineralnych agregatów i ich budowa wewnętrzna należy do tzw. cech krystalomorficznych. Jako dobrze wykształcone kryształy wyróżniają się w rudzie minerały z dużą siłą krystalizacyjnego wzrostu i wysoką twardością. Oprócz kryształów

idiomorficznych w szlifie występują minerały nieprawidłowej formy. Są one charakterystyczne dla minerałów z niską siłą krystalizacyjną np. sfaleryt, chalkopiryt, pirotyn i inne. Ponadto szereg minerałów posiada kolomorfiniczne kształty wydzielen, np. sferyczne, nerkwate i inne. Takie formy są często obserwowane u getytu, psydomelanu, nasturanu, markasytu. Przekryształizowane natomiast koloidalne utwory mają budowę radialno-promienistą (np. często spotykaną w rudach Zn-Pb rej. Olkusza) albo włóknistą.

W diagnostyce minerałów niekiedy duże znaczenie ma wewnętrzna budowa, np. łupliwość, zbliźniczenia, budowa strefowa. Wyróżnia się zbliźniczenia wzrostu, przeobrażenia i ciśnienia. Bliźniaki wzrostu są charakterystyczne m.in. dla antymonitu, sfalerytu. Bliźniaki przeobrażenia mają często kryształowy wrzcionowaty. Obserwuje się je w wysokotemperaturowym, grubokrystalicznym chalkopirycie, kubancie, pirotynie, argentycie, staninie. Polisyntetyczne bliźniaki ciśnienia powstają w ziarnach przy dynamo-metamorfizmie, np. w markasycie, antymonicie, pirotynie, kowelinie i innych. Przy tym we wszystkich ziarnach tworzą się cienkie płytki bliźniaków jednakowej szerokości, często wyciśnięte i zdeformowane. W tych ziarnach oprócz zbliźniczeń zwykle obserwuje się faliste wygaszanie światła, skrzywione szczeliny łupliwości.

W mikroskopii kruszcowej wśród metod chemicznych stosuje się często: trawienie rozpoznawcze i strukturalne, jakościową analizę mikrochemiczną i kropłową, a także metodę odbitek stykowych. Obecnie w związku z wielkim rozwojem metod fizycznych i optycznych stosowanych w diagnostyce minerałów, metody mikrochemiczne straciły swoje znaczenie. Jednakże w niektórych przypadkach wyniki otrzymane tymi prostymi metodami czynią zbyteczne stosowanie bardziej pracochłonnych metod specjalnych, np. chemicznych, rentgenostrukturalnych i innych.

Metoda trawienia oparta jest na różnym zachowaniu się polerowanej powierzchni minerału przy działaniu odczynników chemicznych. Obserwacje trawienia przeprowadza się pod mikroskopem, przy czym zwraca się uwagę na działanie par odczynnika, burzenie się na powierzchni minerału, tworzenie się plam, wyjawianie strukturalnych elementów minerału. W trawieniu diagnostycznym duże znaczenie mają minerały otaczające. Należy przy tym pamiętać, że reakcja z badanym minerałem może być negatywna, jeśli ten minerał jest otoczony innymi, bardziej podatnymi na trawienie danym odczynnikiem. Trawienie strukturalne oparte jest na tym, że rozpuszczalność minerału zmienia się w zależności od krystalograficznej orientacji ziarn. Pozwala ona wyjaśnić wewnętrzną budowę ziarn (zbliźniczenia, strefowość wzrostu, figury deformacji), a poza tym szczeliny łupliwości, granice kryształów w agregatach.

Jakościową analizę mikrochemiczną stosuje się do określenia występowania poszczególnych pierwiastków chemicznych w minerale, a także do chemicznego badania składu rud. Za pomocą mikrochemicznej analizy można wyróżnić np. minerały rud utleniających, których cechy optyczne mało się różnią, np. cerusyt — smitsonit, tenantyt — tetraedryt.

Kolejną stosowaną metodą — odbitek stykowych polega na chemicznym lub elektrolitycznym rozpuszczeniu powierzchni polerowanych minerałów, a następnie wytrącaniu związków poszczególnych pierwiastków w postaci kolorowych plam na papierze fotograficznym. Jest to metoda bardzo czuła, pozwala po kolorze odbitek ustalić obecność pierwiastka chemicznego w minerale, a według rysunku odbicia poznaje się formę wydzielenia minerału, budowę rudy i ilość minerału w rudzie. Oprócz tego metoda ta ma tę zaletę, że odbitki mogą być przechowywane przez dłuższy czas i wykorzystywane w dokumentacjach.

Z szeregu podanych tu metod diagnostyki minerałów kruszczowych doświadczony badacz wybiera najprostsze i bardziej pewne, przechodząc kolejno do obserwacji bardziej złożonych, uwzględniając wyraźnie zaznaczające się cechy rozpoznawcze minerałów. W przypadku występujących w rudach kilku generacji jakiegoś minerału, należy wyjaśnić, czy generacje te różnią się między sobą składem, a zwłaszcza zawartością pierwiastków śladowych, gdyż dostarcza to informacji odnośnie do środowiska, w jakim one powstawały. Wtedy konieczne jest wypreparowanie minerałów z poszczególnych generacji i wykonanie analiz chemicznych, ewentualnie spektralnych. Jeżeli wydzielenia są stosunkowo duże wypreparowanie poszczególnych minerałów bez wzrostów z innymi minerałami może nie sprawiać trudności. Sytuacja się komplikuje, gdy wydzielenia są bardzo małe, gdyż wtedy nawet proszek minerału otrzymany przy użyciu świdra dentystycznego nie daje pewności, że wyseparowany materiał jest czysty.

Po zidentyfikowaniu minerałów występujących w rudzie, drugim bardzo ważnym etapem badań jest opracowanie struktur, tekstur oraz paragenez mineralnych. Jak już wspomniano, rudy w odróżnieniu od skał charakteryzują się większą różnorodnością cech budowy, gdyż często może mieć miejsce nałożenie kilku stadiów mineralizacji jedno na drugie. Oprócz tego wiele rud ulega procesom metamorfizmu. Wyjaśnienie tych problemów następuje w wyniku badania cech strukturalnych rud, przede wszystkim zrastania minerałów wchodzących w skład mineralnych agregatów, ustalenia wiekowych stosunków pomiędzy oddzielnymi minerałami. Jednocześnie przeprowadza się badania szlifów rud w świetle przechodzącym, w celu określenia stosunków minerałów kruszczowe — minerały płonne.

Badanie stosunków między agregatami minerałów charakteryzujących tekstury rud pozwala ustalić kolejność powstawania zespołów mineralnych, różniących się od siebie składem albo strukturą. Te obserwacje przeprowadza się zwykle na polerowanych większych okazach, niekiedy nawet w wyrobiskach górniczych.

Poznanie właściwości budowy rud ma ważne znaczenie zarówno dla szczegółowego opróbowania złóż rud, jak i dla mechanicznego wzbogacania rud. Oprócz tego, szczegółowe badanie ciał rudnych i samych rud ma nie małe znaczenie i dla prac poszukiwawczych. W szeregu złóż zarówno endogenicznych, jak i pochodzenia egzogenicznego, określenie kierunku zmian facjalnych składu rud pozwala ustalić prawidłowości strefowej budowy złóż kruszczowych, co daje możliwość celowego ukierunkowania poszukiwań przemysłowych typów rud w złożach.

Doświadczenia szczegółowego badania rud różnych genetycznych typów złóż wykazały, że do ustalenia rzeczywistych prawidłowości połączenia minerałów konieczne jest rozdzielenie wszystkich spotkanych w danym złożu minerałów na określone grupy wspólnie powstałych minerałów, jako produktów reakcji chemicznych.

Pojęcie mineralna asocjacja oznacza prawidłowe współwystępowanie minerałów razem utworzonych w bliskich warunkach geologicznych i fizyko-chemicznych. W mineralnej asocjacji można wydzielić jedną lub kilka paragenez, tworzenie których zachodziło w określonym stadium mineralizacji. Tak więc w każdą wydzieloną paragenetyczną grupę należy włączyć tylko te minerały, które wg tych albo innych oznak wiekowych stosunków, ustalonych na podstawie cech teksturalnych rud, powstały w określonym stadium krystalizacji danego roztworu albo w wyniku reakcji chemicznych roztworu z wcześniej powstałymi mineralnymi masami w procesie metasomatozy, lub też powstały w wyniku metamorfizmu przy zmianie zewnętrznych czynników równowagi fizyko-chemicznych układów. Z tego punktu widzenia, w każdym złożu albo badanym okręscowaniu przede wszystkim należy rozdzielić minerały endogenicznego i egzogenicznego pochodzenia.

W każdej z grup ustala się paragenetyczne asocjacje minerałów prawidłowo zmieniających się w czasie i przestrzeni, w zależności od: zmian fizyko-chemicznych, warunków powstawania eratów i wpływu otaczającego środowiska.

Oprócz powyżej opisanych metod stosowane jest w Zakładzie Geologii i Ekonomiki Ziół UW badanie inkluzji ciekłych i gazowych w minerałach, a ponadto wiąże się duże nadzieje z uruchomieniem aparatury do badania własności magnetycznych minerałów i wyznaczania punktu Curie. Aparatura została skonstruowana z myślą o oznaczaniu heterogennych mieszanin kilku minerałów ferromagnetycznych, które ze względu na bliskie własności i niezwykle subtelne przerosty są nie do oznaczenia normalnie stosowanymi metodami mineralogiczno-chemicznymi, np. magnetyt — jakobsyt, magnetyt — ilmenit — ulwospinel itp.

Jak z tego wynika zakresu badań mikroskopii kruszcowej nie można ująć w ściśle określone ramy, ponieważ zależy to od stopnia złożoności i skali badanego obiektu.

Aby materiały, które mają być badane za pomocą mikroskopii kruszcowej, dały pożądane wyniki należy już w pierwszym okresie, tzn. przy zbieraniu materiału (szczególnie pobranie próbek rud oraz skał otaczających) i obserwacjach połowych zwrócić uwagę, aby materiał został odpowiednio pobrany i przedstawiał możliwie najpełniej różne fragmenty złoża bądź okrusczenia.

Na zakończenie należy zwrócić uwagę na podstawowe błędy, popełniane często w badaniach mineralizacji kruszcowej, głównie polegają one na:

- ograniczaniu badań jedynie do identyfikacji minerałów, czasem przy całkowitym pominięciu analizy struktur, tekstur rud i paragenez mineralnych;
- wyciąganiu zbyt daleko idących wniosków na podstawie wrywkowych wyników badań przeprowadzonych jedną metodą;
- pomijaniu wiadomości z innych dyscyplin geologicznych przy ostatecznym wyciąganiu wniosków;
- mechanicznym stosowaniu istniejących, czasami przestarzałych schematów i klasyfikacji.

LITERATURA

1. Bałewski A., Jaskólski S. — Oznaczanie minerałów. Warszawa, 1951.
2. Бетехтин А. Г., Генкин А. Д., Филимонова А. А., Шадул Т. Н. — Текстуры и структуры руд, Москва, 1958.

SUMMARY

A set of methods of studying ore minerals is characterized. Special attention is paid to those used in ore mineral microscopy involving microscopic observations in reflected polarized light. These methods make possible simultaneous identification of mineral composition, structure of deposit, and mineral parageneses of the deposit, and to draw conclusions of theoretical and practical relevance.

3. Богданович К. И. — Рудные месторождения. Том I. С. Петербург, 1912.
4. Велчев Васил Н. — Ръководство по минералогия. София, 1959.
5. Волюнский И. С. — Определение рудных минералов под микроскопом. Том I, II, III. Москва, 1949.
6. Волюнский И. С. — Определение рудных минералов под микроскопом. Том I. Москва, 1966.
7. Грабовский М. А., Жерденко О. Н., Сквородин Ю. П. — О возможности применения магнитного порошка при изучении вещества железных руд. Изд. АН СССР, серия геофиз. № 7, 1960.
8. Грабовский М. А., Жерденко О. Н. — Исследование рудных минералов методом магнитной порошковой диаграммы. Геология рудных мест. № 1, 1965.
9. Ермаков Н. П. — Исследования минералообразующих растворов. Харьков, 1950.
10. Ермаков Н. П. — Геохимические системы включений в минералах. Москва, 1972.
11. Исаенко М. П. — Определитель текстур и структур руд. Москва, 1964.
12. Исаенко М. П., Боршанская С. С., Афанасьева Е. Л. — Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете. Москва, 1972.
13. Колесников Л. В. — Ферримагнитные свойства окислов и их минералогическое значение. Вестник Московского Университета, № 6, 1970.
14. Колесников Л. В., Румянцев Г. С. — Терромагнитный анализ промежуточных членов ряда магнетит-якобсит из Еравинских железорудных месторождений в Бурятской АССР, ДАН СССР. Т. 161. № 5.
15. Рамдор П. — Рудные минералы и их сростания. Москва, 1962.
16. Шахов Ф. Н. — Текстуры руд. Москва, 1961.
17. Юшко С. А. — Методы изучения руд под микроскопом в отраженном свете. Москва, 1949.
18. Юшко С. А., Юшко-Захарова О. Е., Лебедева С. И., Максимюк И. Е. — Диагностические свойства рудных минералов. Москва, 1969.
19. Юшко С. А. — Методы лабораторного исследования руд. Москва, 1971.
20. Рудообразующая среда по включениям в минералах. Изд. „Наука“, Москва, 1972.
21. Минералогическая термометрия и барометрия. Том I, Изд. „Наука“, Москва, 1968.

РЕЗЮМЕ

Рассмотрен комплекс методов изучения рудных минералов. Особенное внимание посвящено микроскопическим исследованиям в отраженном поляризованном свете. Эти методы позволяют достоверно определять минеральный состав, строение и парagenезы минералов в рудах и, таким образом, дают ряд теоретических и практических указаний.