

ZNACZENIE MINERALÓW AKCESORYCZNYCH I PIERWIASTKÓW RZADKICH DLA PROBLEMÓW CYKLÓW MAGMATYCZNYCH

ZWYKLE W ROZWOJU i budowie skał magmowych jednego cyklu magmatycznego wydziela się kilka faz, etapów i facji. Pojęcie „cykl”, „faza” jako okresy działalności magmatycznej już dawno weszły do literatury geologicznej. Jednak wielu uczonych różnie rozumie te pojęcia. Tak np. W.A. Nikołajew (1) z cyklem magmatycznym wiąże znacznie szersze pojęcie powtarzalności działalności magmatycznej, wydzielając np. w jeden cykl kimeryjski formowanie się intruzji centralnej i południowej strefy Pamiru.

Cykl magmatyczny w moim rozumieniu (2, 3) jest to powtarzający się okres magmatyzmu w określonej epoce fałdowań. Cykl magmatyczny może się przejawiać w ciągu długiego okresu geologicznego trwającego dziesiątki milionów lat. I.E. Smorczkow (6) dowodzi, że w Górach Kuramińskich (Karamazar) w ciągu 100 mln lat działało ognisko magmy, z którego wydzielały się roztwory rudne w ciągu 5—10 mln lat jeszcze po sformowaniu się najmłodszych dajek magmowych.

Jest rzeczą wiadomą, że w granicach obszarów geosynkлинаlnych cykle magmatyczne i geotekto-

niczne przejawiały się najdoskonalej. Jednak cykl magmatyczny jest pojęciem o wiele węższym niż geotektoniczny, według Bielousowa odpowiada epoce fałdowania. Tak więc w kimerydzie Pamir przeszedł kilka cykli magmatycznych (starokimeryjski, kimeryjski i późnokimeryjski), z których najbardziej intensywny okazał się postorogeniczny późnokimeryjski cykl magmatyczny.

Cykl obejmuje kilka faz i etapów. Przejawy fazowej działalności magmy jednego ogniska magmy wiążą się z tworzeniem się skał stosunkowo bliskich pod względem składu. Fazy zwykle dzieli się na właściwe intruzyjne i na żyłowe. W każdej fazie mogą występować facje: główna intruzyjna, endokontaktowa i apofizowa.

Należy więc oczekiwać, że w czasie jednej fazy powinny się były tworzyć minerały akcesoryczne zbliżone pod względem składu, a konsekwentnie w ich skład powinny wchodzić tylko asocjacje pierwiastków rzadkich. Całkowicie innej asocjacji pierwiastków rzadkich należy oczekiwać w minerałach akcesorycznych w skałach wytworzonych z licznych ognisk magmy różnych faz jednego cyklu magma-

tycznego, a tym bardziej w skałach magmowych wielu cykli. Oczywiście, odmienny będzie kolor i habitus samych minerałów akcesorycznych. Zwrócił na to uwagę S.D. Turowski (7) badający cyrkonie skał północnej Kirgizji, a zwłaszcza A.W. Rabinowicz (5).

Jak twierdzi Rabinowicz: „Poznanie minerałów akcesorycznych ma znaczenie dla rozwiązania szeregu nader ważnych zagadnień, jak:

- a) korelacja utworów magmowych,
- b) otrzymanie obiektywnych danych dowodzących związku okruszczenia z magmatyzmem,
- c) określenie geochemicznych właściwości procesów magmatycznych zachodzących w zespołach z wielorakim okruszczeniem,
- d) wpływ dodatkowych kryteriów określania głębokości ścieżcia erozyjnego i głębokości formowania się ciał intruzyjnych”.

Rabinowicz ustalił określoną asocjację przewodnich minerałów akcesorycznych w skałach granitowych wielu stref metalogenicznych, przy tym wydziela następujące typy skał:

1. cyrkonowy (polimetalicznej strefy wschodniego Zabajkala, rudnego Altaju, Gissoru), gdzie wśród minerałów akcesorycznych przeważa cyrkon;
2. cyrkonowo-fluorytowy;
3. cyrkonowo-kolumbitowy;
4. ortytowy;
5. torytowo-ortytowy;
6. apatytowy;
7. apatytowo-monacytowy (intruzje cynowo-wolframowe);
8. monacytowy;
9. sfenowy (intruzje molibdenowe);
10. sfenowo-magnetytowy;
11. fluorytowy;
12. fluorytowo-monacytowy.

Tak więc Rabinowicz wiąże z typem cyrkonowym polimetale, z apatytowo-monacytowym cynę i wolfram, a ze sfenowym — molibden.

W niniejszym artykule przeprowadzam wstępną analizę właściwości minerałów akcesorycznych i pierwiastków rzadkich wchodzących w ich skład — na przykładzie skał magmowych Pamiru Wschodniego i niektórych skał Pamiru Zachodniego. Znacznie szczegółowiej o minerałach akcesorycznych i pierwiastkach rzadkich mówię w pracach z roku 1960 (2, 3).

Na terytorium Pamiru asocjacja przewodnich minerałów akcesorycznych jest charakterystyczna także dla określonych typów skał granitowych. Jednak zdarzają się pewne wyjątki niezgodne ze schematem Rabinowicza. Tak więc sfen — typ bardziej zasadowych granitoidów kimeryjskiego cyklu magmatycznego (dioryty, adamelity, granity biotyto-we) — nie zawiera molibdenu, choć wiele kryształów sfenu zawiera cynę i wolfram. Molibden genetycznie wiąże się z alpejskimi granitami leukokratycznymi (rzeka Sungat). Z drugiej strony — typ cynowy jest charakterystyczny dla Pamiru, gdy tymczasem cyna występuje w biotycie, ilmenicie, sfenie, ortycie, monacycie, uraninie, co jest cha-

rakterystyczne dla intruzji cynowych. Cynonośność jest charakterystyczna dla o wiele młodszych późnokimeryjskich (wczesnoalpejskich) granitów dwulyszczkowych.

Charakterystyczną właściwością metalogenii Pamiru jest duża zawartość metali rzadkich zwłaszcza w młodych granitoidach.

Najwięcej odpowiednich minerałów (berylu, spodumenu i kolumbitu) zawierają najmłodsze granitoidy intruzji pamiirsko-szugnańskiej, pegmatytowe granity Bel-Alma oraz zgrejzenowane granity góry Otawa-Utek. Należy podkreślić ogólną właściwość minerałów akcesorycznych a także ciemnych skałotwórczych (piroksen, amfibol, mika) oraz kontaktowo-metamorficznych (wezuwien, tremolit, chloryt, epidot) — skupiania w sobie pierwiastków rzadkich, zwłaszcza z grupy ceru i itru (3).

Nie widać żadnej prawidłowości w podwyższeniu zawartości Hf, U, Th w cyrkonach cynonośnych typów granitów, na co wskazuje Rabinowicz dla intruzji wschodniego Zabajkala i innych obszarów. Przeciwnie, powyższe pierwiastki są związane z cyrkonami wielu skał zarówno wcześniejszego cyklu magmatycznego (granitoidy bardziej zasadowe), jak i magmatyzmu najmłodszego, powodującego leukokratyczne odmiany granitów. Dla znacznej większości cyrkonów licznych skał granitowych Pamiru charakterystyczna jest obecność niklu, lantanu i niobu (dziesiąte i setne części %, grupa itrowa do 1%).

Tak więc ogólnym rysem charakterystycznym kimeryjskiego i alpejskiego magmatyzmu Pamiru jest zawartość metali rzadkich i szczególnie zawartość berylu, litu, niobu, tantal, pierwiastków promieniotwórczych i ziem rzadkich z resztek magmy krzemionkowej końcowego cyklu działalności magmatycznej.

Jeżeli chodzi o minerały akcesoryczne zespołów magmowych licznych faz jednego cyklu magmatycznego i minerałów akcesorycznych wielu cykli, to do pewnego stopnia różnią się one pod względem swych właściwości chemicznych. Analiza tych właściwości — wspólnie z innymi czynnikami (z asocjacją pierwiastków występujących w małych ilościach w wielu minerałach, z oddzieleniem emanacji rudnych z resztek magmy krzemionkowej itd.) — ułatwi wydzielenie osobnych pasów metalenośnych w sferze metalogenicznej.

Na terytorium Pamiru wydzielałam dotychczas 5. metalogenicznych typów skał: 1. cyrkonowy, 2. sfenowo-ortytowy, 3. cyrkonowo-monacytowy, 4. kolumbitowo-berylowo-spodumenuowy, 5. apatytowo-ortytowo-fluorytowy.

W sumie ustalono około 30 minerałów akcesorycznych: cyrkon, sfen, ortyt, monacyt, apatyt, magnetyt, ilmenit, ksenotym, toryt, kolumbit, granat, turmalin, kasyteryt, wolframit, molibdenit, szelit, beryl, spodumen, szpinel, piryt, piryt kobaltowy, pirotyn, chalkopiryt, uraninit, branneryt, dawdyt, galenit, sfalcyt, baryt, fluoryt, paryzyt, bastnezyt.

Koncentracja cyrkonowa w skałach Pamiru starszych cykli magmatyzmu (starokimeryjskiego i kimeryjskiego) o składzie diorytowo-adamelitowym — była większa niż w skałach młodszego

cyklu magmatycznego lub w skałach tworzących się w najpóźniejszych fazach magmatyzmu wspólnego cyklu magmatycznego. To powodowało wydzielanie się stosunkowo dużych kryształów z jasnoczerwonym zabarwieniem, czasem osiągających 1–2 mm.

Magma krzemionkowa najpóźniejszej fazy magmatyzmu zawierała znaczną koncentrację lotnych a zwłaszcza takich ruchliwych pierwiastków jak potas i sód.

Wskutek procesów autometasomatycznych, jak np. albityzacja mikroklinu pierwszej generacji w granitach pamiirsko-szugańskich i ich pegmatytach, muskowityzacja biotyty lub, na odwrót, mikroklinizacja plagioklazów, jak to widać w granitach rzeki Dun-Keldyk itp. — zachodziło rozpuszczanie się cyrkonu wykrystalizowanego później (minerały rudne, szpat polny, sfen, ortyt i inne).

Typ sfenowo-ortytowy jest charakterystyczny dla granodiorytów i granitów biotytytowych starokimeryjskiego i kimeryjskiego cyklu magmatycznego oraz dla wcześniejszych faz cyklu późnokimeryjskiego. Zawartość sfenu stopniowo maleje w młodszych skałach intruzyjnych, dochodząc do zera w leukokratycznych granitach, aplitach i alaskitach. Dla plutonitu pamiirsko-szugańskiego sfen, ortyt i magnetyt nie są charakterystyczne, jednak na kontaktach z marmurami i gnejsami amfibolowymi, gdzie one zawierają liczne paczki i agregaty amfibolitów (rzeka Jamczyn i in.), widać dużo wtórnego sfenu. W ten sposób analizując typy skał na podstawie charakterystycznych dla nich minerałów akcesorycznych, należy mieć również na uwadze wpływ skał je zawierających na wzajemne stosunki i własności chemiczne minerałów akcesorycznych.

Typ cyrkonowo-monacytowy jest charakterystyczny dla skał późnokimeryjskiego cyklu magmatycznego. Analiza sztucznych szlichów potwierdziła obecność drobnych ilości rozproszonego monacytu — łącznie z cyrkonem, apatytem, kasyterytem i berylem — w dwulyszczkowych granitach plutonitu pamiirsko-szugańskiego, w muskowitowych granitach intruzji bazardaryńskiej oraz w pegmatytach pokrywy intruzji i przykontaktowej aureoli. W gnejsach i migmatytach pokrywy i w samych granitach plutonitu pamiirsko-szugańskiego monacyt góruje nad cyrkonem. Jest rzeczą znaną, że w tych skałach prawie zupełnie brak sfenu i ortytu, gdy tymczasem w skałach zawierających ortyt i sfen brak monacytu lub też występuje on w minimalnych ilościach. Monacyt i cyrkon iniekowanych biotytytowych gnejsów pasa aliczurskiego genetycznie się wiąże z magmą macierzystą, z której powstał pamiirsko-szugański plutonit granitoidów. Cyrkon, jak już zaznaczałem, występuje również w innych skałach magmowych (w granitach urtabuskich — w asocjacji z apatytem i ilmenitem, w biotytytowych granitach i skałach subwulkanicznych południowo-wschodniego Pamiru, jednak nie stwierdza się tu jego ścisłej asocjacji z monacytem.

Typ kolumbitowo-berylowo-spodumenowy jest charakterystyczny dla skał końcowej fazy późno-

kimeryjskiego-wczesnoalpejskiego cyklu magmatycznego. Jest on szczególnie charakterystyczny dla apikalnych części dwulyszczkowych granitów pamiirsko-szugańskich i ich postmagmatycznych derywatów pegmatytowych.

Typ apatyto-ortytowy jest charakterystyczny dla skał alkalicznych późnokimeryjsko-alpejskiego cyklu magmatycznego granosjenitów, sjenito-porfirów i trachitów rzeki Dun-Keldyk. W breckjowatych strefach tego rejonu spotyka się drobnokrystaliczny bastnezyt i paryzyt łącznie z fluoritem i kalcytem.

Tak badane właściwości chemiczno-fizyczne minerałów akcesorycznych i wyróżnienie w nich pierwiastków rzadkich pozwala w konsekwencji stwierdzić, że są one doskonałymi wskaźnikami geologicznych i fizyczno-chemicznych warunków krystalizacji granitoidów. Wyniki badań dowodzą, że minerały akcesoryczne można z powodzeniem stosować do porównania granitoidów wielu faz i cykli prowincji metalogenicznej.

Wydzielaniu pierwiastków rzadkich i akcesorycznych został poświęcony osobny artykuł (3). Tu chcę jedynie zaznaczyć, że w sfenie z granitoidów Pamiru zawartość pierwiastków śladowych nie jest jednakowa.

Szczególną osobliwością jest nieco większa zawartość żelaza niż wapnia w bardziej melanokratycznych granitoidach wczesnych faz magmatyzmu: w diorytach, tonalitach i adamelitach. Zupełnie inny obraz widzimy w odmianach leukokratycznych granitów najpóźniejszych faz magmatyzmu: w dwulyszczkowych i muskowitowych granitach oraz w ich szczelinowych dyferencjatach. W tych ostatnich można również zauważyć wzrost zawartości niobu, cyrkonu i lantanu.

Dla wszystkich cyrkonów charakterystyczna jest minimalna zawartość ceru i dość zwiększona zawartość grupy itrowej w stosunku do lantanu. Drugą osobliwością cyrkonów wczesnych faz magmatyzmu jest obecność niklu, tytanu i niobu a także czasem — fosforu.

Ziemie rzadkie są przewodnimi pierwiastkami śladowymi dla znacznej większości minerałów, jednak podwyższenie koncentracji dla skał młodszych sprawia, że większość młodych późnokimeryjskich-wczesnoalpejskich granitów Pamiru Wschodniego — to intruzje bogato okruszcowane, zawierające zwiększone ilości pierwiastków lotnych (B, F) i rzadkich (Be, Y, Yb, Zr, Hf, La, Li, Sn, Ta, Nb). Następną grupą o zmiennym rozprze-strzenieniu stanowią pierwiastki: Ni, Co, Ti, Bi, Pb, Zn, Ga, Ge, Cd, Sc, Ba, Sr, jednak znacznie większą ich koncentrację stwierdzamy w skałach wcześniejszych faz tworzenia się starokimeryjskiego i kimeryjskiego cyklu magmatyzmu. Dla wszystkich skał magmowych wschodniego Pamiru kimeryjsko-alpejskich cykli magmatyzmu charakterystyczna jest niska zawartość takich pierwiastków, jak: Ca, Mg, Cr, V, Ni, Co, Cu, Bi, As, Sb, Hg i niektórych innych. Daje to dodatkowy materiał do oceny geochemicznych osobliwości wydzielonej prowincji petrograficznej.

Granitoidy Pamiru Wschodniego są różnego wieku. W każdym razie formowały się one podczas

kilku cykli magmatycznych. Wszystkim tym skałom towarzyszą liczne typy okruszcowania: polimetaliczne, metali rzadkich, rud żelaza, wolframowo-olowiowe. Analiza minerałów akcesorycznych i pierwiastków rzadkich w minerałach skałotwórczych i akcesorycznych pozwala — uwzględniając osobliwości petrochemiczne, mineralogiczne i strukturalne oraz specyfikę tworzenia się tych ciał na znacznych głębokościach — dokładniej uzasadnić fazową i cykliczną metalogenię magmatyzmu, a także wyjaśnić paragenetyczny i geochemiczny związek przejawów okruszcowania ze skałami pochodzenia magmowego.

Na podstawie prawidłowości zmian właściwości geochemicznych w utworach licznych faz, zbadania fizyczno-chemicznych warunków tworzenia się każdego masywu lub kompleksu skał — można przeprowadzić korelację wzajemnych stosunków wiekowych między skałami o różnych składach petrograficznych oraz wyjaśnić fazowe i facjalne stosunki w jednym kompleksie magmowym lub dla skał wielu kompleksów. Mam na myśli określoną ilościowo i jakościowo koncentrację pierwiastków-domieszek, nasycenie składnikami lotnymi, kształt i kolor minerałów akcesorycznych i obecność w nich pierwiastków rzadkich, chociaż fizyczno-chemiczne osobliwości minerałów akcesorycznych są funkcją fizyczno-chemicznych warunków tworzenia się skał różnych pod względem petrograficznym. Różnorodność cykliów wulkanicznych przejawia się o wiele częściej niż cyklów intruzyjnych. Jednak wydzielenie osobnych faz zwykle stanowi niełatwe zadanie, zwłaszcza gdy brak bezpośrednich spostrzeżeń nad faktycznie dużą przerwą w czasie przejawów wulkanizmu.

Wielorakość szczegółów jakościowego i ilościowego składu minerałów akcesorycznych widać także w subwulkanicznych i efuzyjnych skałach Pamiru. Dają się zauważyć zmiany w asocjacji minerałów

akcesorycznych i pierwiastków śladowych od prostszych w skałach starszych do bardziej złożonych i różnorodnych w skałach młodszych. Jednakże akcesoryczna mineralizacja efuzywna jest uboższa niż skał intruzywnych (galenit, sfaleryt, baryt, magnetyt, ilmenit, piryty, chalkopiryty). Większość pierwiastków rudnych wchodzi do siatki krystalicznej różnych minerałów skałotwórczych i zwykle prawie nie wykształca minerałów akcesorycznych.

(Przełożył T. Burakowski)

LITERATURA

1. Николаев В. А. — Магматическая геология Памира и Дарваза. Научные итоги работ Тадж. Памирской экспедиции. М. Л., 1936.
2. Проскурко А. И. — Акцессорные минералы в магматических породах Памира. Тр. геол. отделения Тадж. госуниверситета № 2, 1960.
3. Проскурко А. И. — Некоторые особенности в распределении малых элементов в акцессорных и породообразующих минералах гранитоидов Памира. Вопросы минералогии, геохимии и генезиса месторождений редких элементов. Тр. минер. геохимии и кристаллохимии редких элементов, вы. 2, 1960.
4. Проскурко А. И. — Субвулканические и эффузивные породы юго-восточного Памира. Тр. геол. отделения Тадж. госуниверситета, № 1, 1960.
5. Рабинович А. В. — Закономерности распределения акцессорных минералов в гранитоидах различных металлогенических зон. Материалы к II-му Всесоюзному Петрографическому совещанию, изд. АН Уз. ССР, Ташкент, 1958.
6. Сморгачев И. Е., Павлова Г. А. — Жильные породы района р. Гава-Сай (Кураминский хр.) и некоторые особенности распределения в них акцессорных минералов. Тр. ин-та геологии и рудн. м-й, петрограф., минерал. и геохимии, вы. 21, 1958.
7. Туровский С. Д. — О морфологических особенностях циркона из изверженных пород Сев. Киргизии, Тр. ин-та геол. Кирг. ССР, вы. VI, 1955.