

Anna DZIEDZIC

Badania geochemiczne metamorfiku białowieskiego

WSTĘP

W nawiązaniu do prac petrograficznych od kilku lat prowadzi się badania zmierzające do określenia charakteru geochemicznego skał podłoża krystalicznego północno-wschodniej Polski.

W niniejszej pracy przedstawiono i omówiono wyniki badań geochemicznych dotyczące metamorficznej serii białowieskiej. Na podstawie rozmieszczenia pierwiastków śladowych, w odniesieniu do głównych składników chemicznych, rozpatrzono możliwości wykorzystania danych analitycznych do paralelizacji poszczególnych zespołów skalnych, serii metamorficznych oraz do ewentualnego uzyskania wskaźników genetycznych. Metamorficzny kompleks podlaski suprakrustalnego pochodzenia stanowi odrębną jednostkę facjalną krystaliniku Niżu Polskiego; zasięg jego jest wyznaczony przez szereg wąskich anomalii magnetycznych. W rejonie Białowieży anomalie te, wywołane obecnością różnych skał metamorficznych, występują wąskim pasem ciągnącym się w kierunku NNW—SSE, skręcając w odcinku południowym na NW—SE.

Metamorficzna seria białowieska (W. Ryka, 1964) znajduje swe odbicie w odpowiednich anomaliach geofizycznych i reprezentowana jest przez szereg typów skalnych. Są to głównie różnego rodzaju gnejsy kwarcowo-plagioklazowo-biotytowe, kwarcowo-plagioklazowo-amfibolowe, skały epidotowe, hornfelsy oraz migmatyty przechodzące w granodioryty, a następnie granity alkaliczne otaczające omawianą serię od zachodu.

Wymienione skały metamorficzne, będące przedmiotem badań, nawiercone zostały w Waśkach, Podborowisku, Grodzisku, Nowosadach—Skupowie, Rajsku i Krzyżach (fig. 1).

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie charakterystyki petrograficznej i danych geochemicznych skały metamorficznej serii białowieskiej omówiono w następującej kolejności: granodioryty z Rajska, gnejsy i migmatyty nawiercone w Podborowisku, Grodzisku, Nowosadach — Skupowie, amfibolity z Podborowiska, Grodziska, Nowosadów — Skupowa, Wasiek, leukokratyczna skała plagioklazowa z Wasiek, hornfelsy, skały epidotowe i amfibolowe z Krzyży.

GRANODIORYTY Z RAJSKA

Podstawowym zespołem skalnym występującym w rejonie Białowieży są granitoidy o charakterze granodiorytów nawiercone w Rajsku, należące prawdopodobnie do wspólnej strefy granitoidów centralnych (W. Ry-

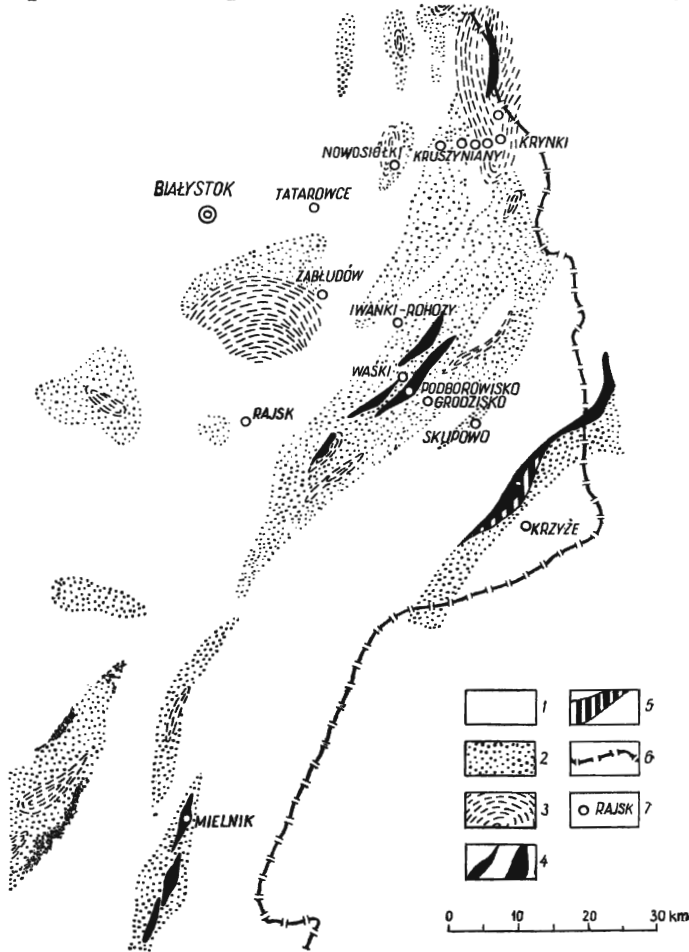


Fig. 1. Mapa zróżnicowania petrograficznego stropu krystaliniku rejonu Białowieży — Białegostoku według W. Ryki

Map of petrographic differentiation of the top of the crystalline basement in the region of Białowieża — Białystok, according to W. Ryka

- 1 — granitoidy; 2 — migmatyty; 3 — gnejsy i amfibolity;
 4 — trapgranulity i gabra; 5 — hornfelsy; 6 — granica państwa; 7 — otwory wiertnicze
 1 — granitoids; 2 — migmatites; 3 — gneisses and amphibolites;
 4 — trap-granulites and gabbros; 5 — hornfelses;
 6 — state frontier; 7 — bore holes

ka, 1967). Badania petrograficzne wskazują na złożony proces kształtowania się tego zespołu. Jego skład mineralny jest dość urozmaicony. Skąły te przedstawiają zmienny pod względem uziarnienia typ, złożony z drob-

no- i gruboziarnistych partii o podobnym składzie mineralnym. W granodiorytach Rajska oznaczono Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mg, Ti, Ni, Co, V, Cr, Mn, Pb, Ga, Cu, Ba, Sr, nie stwierdzono natomiast występowania Sn, Mo, Ag.

Tabela 1

Zakres zawartości oraz średnie pierwiastków w skałach krystalicznych Rajska w porównaniu ze średnimi zawartościami w głównych typach skał wg A. P. Winogradowa (1962)

Pierwiastek	Zakres zawartości w skałach krystalicznych Rajska	Średnia zawartość w skałach krystalicznych Rajska	Średnia zawartość wg A. P. Winogradowa	
			w skałach obojętnych (andezyt, dioryt)	w skałach kwaśnych (granodioryt, granit)
w %				
Fe	2,90 ÷ 6,50	4,00	5,85	2,70
Mg	2,30 ÷ 3,40	3,00	2,18	0,56
Ti	0,26 ÷ 0,50	0,36	0,80	0,23
w ppm				
Ni	24 ÷ 36	28	55	8
Co	13 ÷ 18	15	10	5
V	45 ÷ 100	80	100	40
Cr	12 ÷ 160	50	50	25
Mn	580 ÷ 1200	900	1200	600
Ga	16 ÷ 21	18	20	20
Cu	7 ÷ 80	35	35	20

Badania geochemiczne nie wykazały zróżnicowania skał nawierconych w Rajsku nie tylko pod względem zawartości składników głównych, ale i koncentracji pierwiastków śladowych. Zaobserwowane różnice sprowadzają się do wahań w zawartości niektórych pierwiastków (fig. 2), związanych ze składem mineralnym i strukturą poszczególnych partii. Z reguły gruboziarniste partie zawierające glomeroblastyczne skupienia minerałów ciemnych są bogatsze w V, Cr, Mn oraz charakteryzują się znaczną przewagą baru nad strontem. Nikiel w profilu skał granodiorytowych nie wykazuje zróżnicowania, podobnie jak i kobalt, przy czym stosunek niklu do kobaltu wypada zawsze na korzyść pierwszego. Gal występuje we wszystkich próbkach, średnio w ilości 20 ppm. Nie wysokie są również koncentracje miedzi, jakkolwiek dyspersja wyników jest dość znaczna. Żelaza zarówno dwu- jak i trójwartościowego w skałach krystalicznych Rajska jest niewiele i maksymalne zawartości tego składnika nie przekraczają 5%, a żelazo dwuwartościowe nieznacznie przeważa nad trójwartościowym. Stosunek żelaza do magnezu charakteryzuje się stałymi wartościami wykazując nieznaczną przewagę żelaza. Średnie zawartości Ni, Co, V, Cr, Mn, Ga, Cu oraz Fe, Mg, Ti zestawiono w tab. 1, w której dla porównania zamieszczono średnie zawartości tych pierwiastków w głównych typach skał wg A. P. Winogradowa (1962).

Z powyższego zestawienia wynika, że średnie zawartości wymienionych pierwiastków w skałach krystalicznych w Rajsku przedstawiają po-

średnie wartości pomiędzy średnimi przedstawionymi przez A. P. Wino-gradowa (1962) dla skał obojętnych i kwaśnych. Jak wynika z tab. 2, jedynie Cr, Co i Mg charakteryzują się średnimi zawartościami wyższymi od średnich zawartości tych pierwiastków dla skał obojętnych podanych przez wspomnianego autora. Wzajemne zależności Ni, Co, Cr oraz żelaza dwu- i trójwartościowego obrazują fig. 13 i 14. Na wykresach tych skały Rajska leżą w polu wyznaczonym przez zespoły amfibolitowo-gnejsowe Grodziska, Nowosadów—Skupowa i Podborowiska.

GNEJSY I MIGMATYTY Z PODBOROWISKA

W Podborowisku występują naprzemianległe z amfibolitami dwa zasadnicze typy gnejsów, które wykazują ponadto szereg odmian pośrednich. Podstawowym zespołem są gnejsy kwarcowo-plagioklazowo-biotytowe oraz gnejsy kwarcowo-plagioklazowo-amfibolowe. Nierzadka jest również odmiana gnejsów kwarcowo-plagioklazowo-biotytowo-amfibolowych. Wykształcenie głównych składników jest we wszystkich odmianach gnejsów podobne. Skały te za pośrednictwem zmigmatyzowanych gnejsów kwarcowo-plagioklazowo-biotytowych, w których pojawia się granat, przechodzą w migmatyty. Wszystkie te zespoły skalne, pomimo pewnego zróżnicowania mineralnego pod względem geochemicznym, tworzą podobny układ. W wyraźny sposób zaznaczyły się natomiast najmłodsze przeobrażenia gnejsów w procesie migmatyzacji. Produkty tych przeobrażeń wykazują znaczne obniżenie zawartości wszystkich oznaczonych pierwiastków śladowych oraz zmniejszenie się ilości żelaza. Średnie zawartości Ni, Co, V, Cr, Mn, Cu, Pb, Sn, Zn oraz ich rozrzuty przedstawia fig. 3. Minimalne zawartości Fe, Ni, Co, V, Cr odpowiadają migmatytom i gnejsom zmigmatyzowanym. Nie zaobserwowano różnicy w koncentracji magnezu, chociaż wiadomo, że pierwiastek ten jest dość ruchliwy w procesach metasomatozy i migmatyzacji. Przeobrażenia mineralne zachodzące w obrębie gnejsów polegały jedynie na przekształceniach zespołów mineralnych nie powodując istotnego zróżnicowania chemicznego. Dopiero w migmatytach zaobserwowano wyraźne rozrzedzenie analizowanych pierwiastków śladowych, głównie pierwiastków rodziny żelaza.

Zespół gnejsów Podborowiska charakteryzuje się dwukrotną przewagą niklu nad kobaltem oraz równowagą niklu i chromu. Zawartość wanadu, który przez A. P. Miłowskiego (1964) uważany jest za pewien wskaźnik genetyczny, w gnejsach Podborowiska wynosi średnio 190 ppm.

GNEJSY Z GRODZISKA

Przewiercony w Grodzisku kompleks skał metamorficznych zbudowany jest podobnie jak w Podborowisku z naprzemianległych wkładek gnejsów i amfibolitów. Gnejsy wykształcone są w odmianie kwarcowo-plagioklazowo-biotytowej. Fig. 4 obrazuje rozrzuty oraz średnie zawartości oznaczanych pierwiastków w gnejsach z Grodziska. Gnejsy kwarcowo-plagioklazowo-biotytowe zbliżone są swym ogólnym charakterem geochemicznym do gnejsów kwarcowo-plagioklazowo-biotytowych z Podborowiska. Gnejsy z Grodziska zawierają jednakże mniej magnezu i żelaza, a więc chromu, którego średnia koncentracja wynosi 120 ppm.

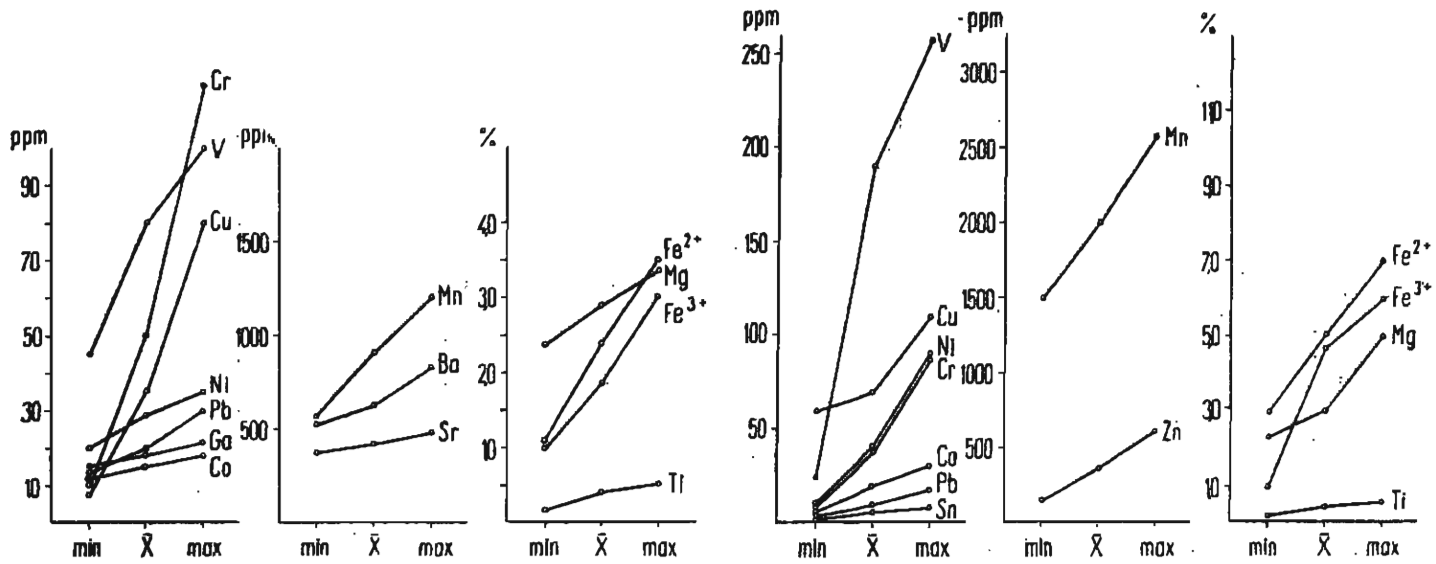


Fig. 2

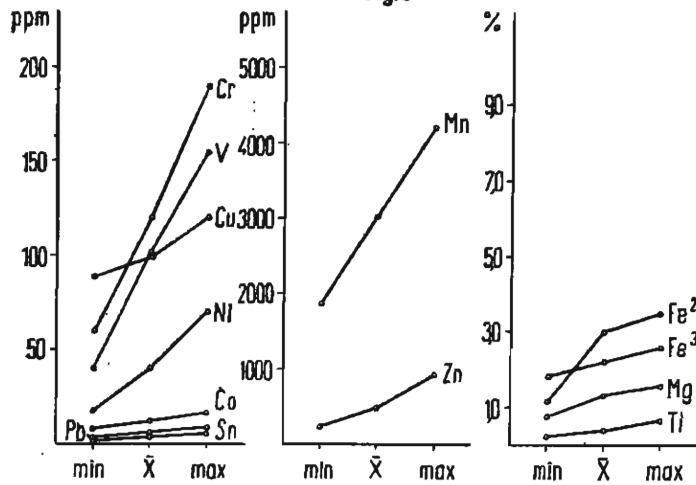


Fig. 4

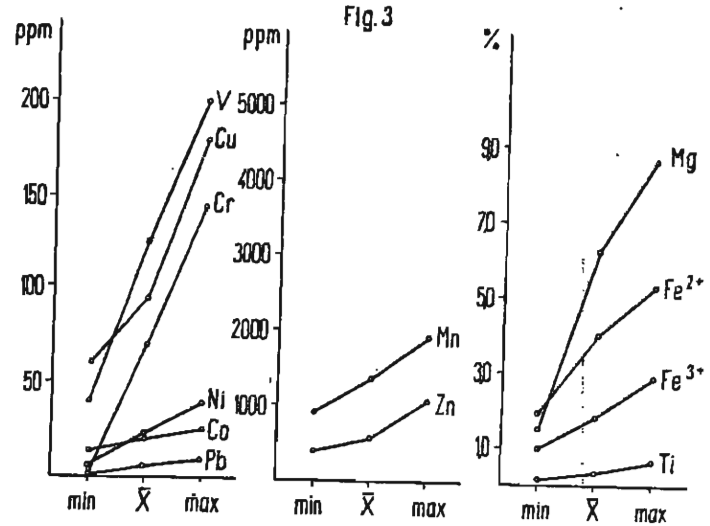


Fig. 3

Fig. 2. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w skałach krystalicznych Rajska
Scatter and mean content of chemical elements in the crystalline rocks of Rajsk

Fig. 3. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w gnejsach Podborowiska
Scatter and mean content of chemical elements in the gneisses of Podborowisko

Fig. 4. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w gnejsach Grodziska
Scatter and mean content of chemical elements in the gneisses of Grodzisko

Fig. 5. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w gnejsach Nowosadów — Skupowa
Scatter and mean content of chemical elements in the gneisses of Nowosady — Skupowo

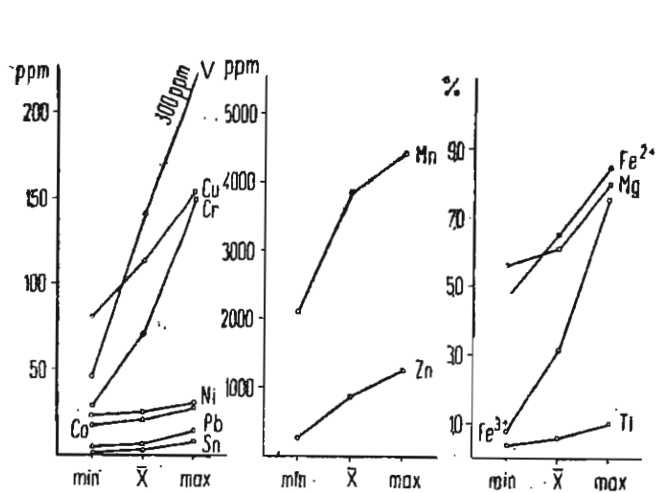


Fig. 6

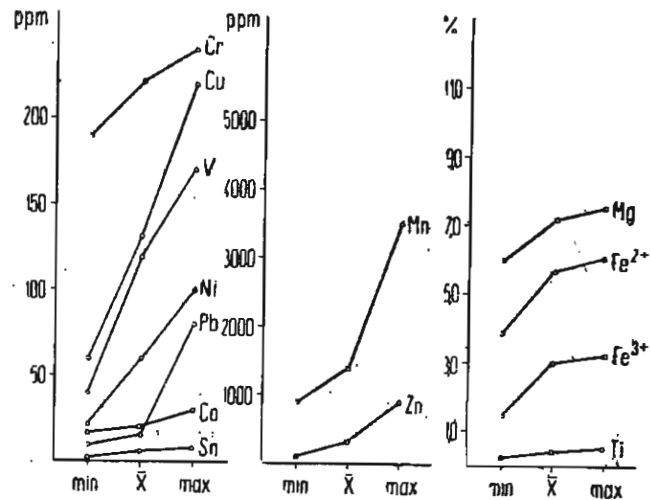


Fig. 7

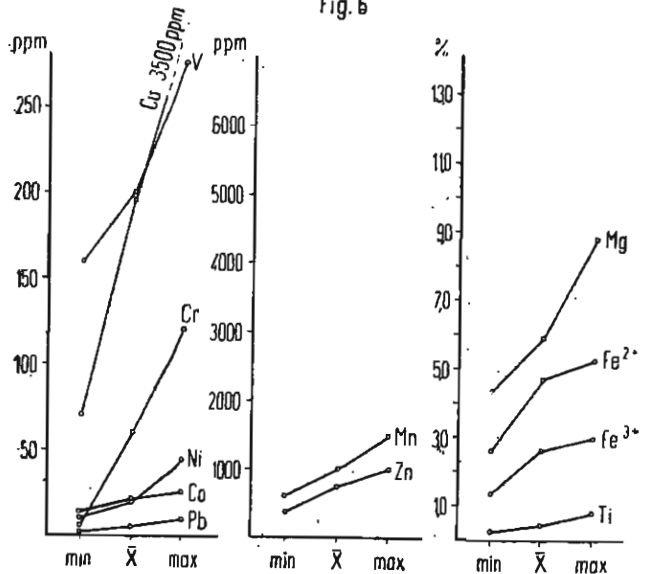


Fig. 8

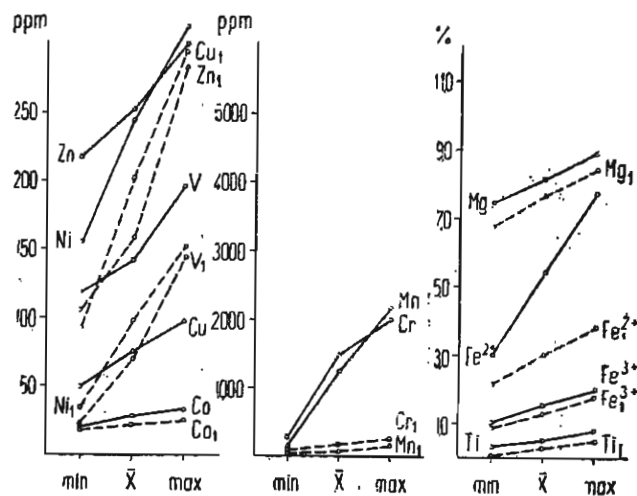


Fig. 9

Fig. 6. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w amfibolitach Podborowiska
Scatter and mean content of chemical elements in the amphibolites of Podborowiska

Fig. 7. Rozrzut i średnią zawartość pierwiastków w amfibolitach Grodziska
Scatter and mean content of chemical elements in the amphibolites of Grodzisko

Fig. 8. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w amfibolitach Nowosady — Skupowa
Scatter and mean content of chemical elements in the amphibolites of Nowosady — Skupowo

Fig. 9. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w amfibolitach Waśki
Scatter and mean content of chemical elements in the amphibolites of Waśki

W gnejsach Grodziska stwierdzono również najniższe spośród gnejsów rejonu Białowieży zawartości wanadu, a najwyższe ilości manganu. W profilu geochemicznym skał z Grodziska obserwuje się nierównomierne rozłożenie Ni, Co, V, Cr, co związane jest z naprzemianległym występowaniem lamin kwarcowo-plagioklazowych i biotytowych oraz ich zmiennym składem mineralnym.

GNEJSY Z NOWOSADÓW — SKUPOWA

W Nowosadach — Skupowie gnejsy występują w formie zespołu przerastającego się z amfibolitami podobnie jak w poprzednio opisanych wierceniach. Gnejsy wykształcone są w odmianie skaleniowo-kwarcowo-biotytowej, przy czym podstawowy zespół mineralny tworzą plagioklaz i kwarc.

Średnia zawartość oznaczanych pierwiastków śladowych w gnejsach Nowosadów — Skupowa (fig. 5) utrzymuje się na poziomie średniej zawartości tych pierwiastków w gnejsach z pozostałych wierceń. W skałach tych stwierdzono jedynie najwyższe zawartości magnezu, odpowiadające zawartościom tego pierwiastka w amfibolitach. Jak wynika z badań petrograficznych, zespół kwarcowo-plagioklazowo-biotytowy, z którego zbudowane są gnejsy, jest mało zróżnicowany. Zaobserwowane natomiast wahania w koncentracji niklu, wanadu i chromu związane są prawdopodobnie z glomeroblastycznymi skupieniami minerałów ciemnych, głównie biotytu i amfibolu. W profilu geochemicznym skał metamorficznych z Nowosadów — Skupowa wraz ze wzrostem głębokości obserwuje się stopniowe zmniejszanie się zawartości niklu i chromu. Zjawisko to stwierdzono nie tylko w obrębie gnejsów, w których biotyt występuje w zmiennych ilościach, lecz także w amfibolitach nie różniących się petrograficznie.

W ogólnym ujęciu gnejsy rejonu Białowieży wykazują jednolity charakter geochemiczny. Zaobserwowane różnice w zawartościach pierwiastków są wynikiem zmiennego składu mineralnego. Średnie zawartości pierwiastków grupy żelaza i średnią zawartość magnezu podano w tab. 2.

Tabela 2

Średnie zawartości pierwiastków grupy żelaza i średnia zawartość magnezu w skałach metamorficznych Podborowiska

Rodzaj skały	Fe	Mg	Ti	Ni	Co	V	Cr	Mn
	w %			w ppm				
Gnejsy	6,30	3,80	0,33	30	20	140	80	2100
Migmatyty	3,80	2,80	0,30	8	8	20	5	1600

Z analizy danych przedstawionych w tab. 2 wynika, że w procesie migmatyzacji pierwiastki syderofilne ulegają znacznemu rozcieńczeniu. Średnie zawartości Ni, V, Cr w gnejsach rejonu Białowieży pokrywają się ze średnimi zawartościami tych pierwiastków podanymi przez A. P. Miłowskiego (1964) dla bezspornych paragnejsów krystaliniku platformy rosyjskiej. Kobalt we wszystkich odmianach gnejsów występujących

w rejonie Białowieży nie wykazuje zróżnicowania, a zawartość tego pierwiastka utrzymuje się w granicach 20 ÷ 40 ppm.

Średnie zawartości Ni, Co, V, Cr w skałach osadowych (według A. P. Winogradowa, 1962) są bardziej zbliżone do średnich zawartości odpowiednich pierwiastków w gnejsach Białowieży aniżeli średnie określone przez tego autora dla skał granitoidowych. Z przeliczeń analiz chemicznych gnejsów rejonu Białowieży (W. Ryka, 1967) oraz z analizy ich składu petrograficznego wynika, że występujące tam gnejsy różnią się na dwa typy. Pierwszym typem są zasadowe gnejsy Podborowiska, drugim — kwaśne gnejsy z Grodziska i Nowosadów — Skupowa. Badania geochemiczne nie potwierdziły zróżnicowania przebadanych gnejsów, lecz uwidoczniły pokrewieństwo i podobny charakter geochemiczny tych skał oraz współwystępujących z nimi amfibolitów. Należy przypuszczać więc, iż zespoły amfibolitowo-gnejsowe Nowosadów — Skupowa, Podborowiska i Grodziska stanowią jeden typ genetyczny. Skały te powstać mogły w czasie jednego etapu przeobrażeń, w którym zaszły procesy glomeroblastyzy składników reprezentowanych przez kwarc, plagioklaz, homblendę oraz biotyty. Skład mineralny tych skał, różniący się zasadniczo tylko ilością minerałów głównych, oraz podobny charakter geochemiczny obu współwystępujących zespołów sugeruje wspólne pochodzenie. Natomiast wahania w zawartościach pierwiastków śladowych, nie zawsze znajdujące odzwierciedlenie w składzie mineralnym i chemicznym skały, różne pomiędzy nimi zależności, zmienny stosunek żelaza do magnezu wskazywać mogą na osadowe pochodzenie zespołu. Skałami macierzystymi mogły być skały okruchowe lub ilaste, bogate w węglany poprzekładane prawdopodobnie utworami wulkanoklastycznymi, które stanowić mogły materiał wyjściowy amfibolitów. Trudności ustalenia genezy i macierzystego zespołu tych skał wynikają z jego znacznej przebudowy w ostatnim etapie przeobrażeń.

AMFIBOLITY Z PODBOROWISKA

Amfibolity z Podborowiska podobnie jak i gnejsy reprezentowane są przez dwie odmiany tworzące cienkie wkładki w gnejsach. Pierwszą odmianę stanowi amfibolit nie wykazujący znamion przeobrażeń, z którym związane są najwyższe zawartości Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mg, Ti. Drugą podrzędną występującą odmianą jest amfibolit zmigmatyzowany. Skład mineralny obu odmian jest zróżnicowany. Amfibolity migmatyczne stanowią produkt przeobrażenia amfibolitów, których relikty zachowały się w postaci glomeroblastycznych zespołów, ulegających w wyniku migmatyzacji petroblastyzie. Zjawisko to znajduje odbicie w koncentracji niektórych pierwiastków śladowych, będących wyrazem zmiany składu mineralnego. Średnie oraz minimalne i maksymalne zawartości oznaczonych w amfibolitach Podborowiska pierwiastków przedstawiono na fig. 6.

Jak wynika z wykresu, brak jest istotnych różnic w asocjacji gnejsowo-amfibolitowej. W amfibolitach Podborowiska zaobserwowano znaczne rozpiętości w zawartości chromu wanału i manganu, pozostałe pierwiastki nie wykazują zróżnicowania, a ich minimalne i maksymalne zawartości tylko nieznacznie odbiegają od średniej. Oba typy amfibolitów Podborowiska charakteryzują się wyższymi niż w gnejsach zawar-

tościami manganu, miedzi, cynku i ołowiu. Natomiast wanad i nikiel ulega większemu nagromadzeniu w gnejsach, a zwłaszcza w gnejsach kwarcowo-plagioklazowo-biotytowo-amfibolowych. Jednakże mimo pewnych różnic w średnich zawartościach tych pierwiastków, zakres ich koncentracji jest taki sam zarówno w gnejsach, jak i w amfibolitach. Zespoły skalne z Podborowiska pomimo zróżnicowania mineralnego i strukturalnego reprezentują zbliżony charakter geochemiczny. Gnejsy i amfibolity przerastające się lokalnie wykazują podobny interwał zawartości pierwiastków śladowych i zbliżone średnie. Pewne wahania zaobserwowane w koncentracji pierwiastków wywołane są mniejszym lub większym nagromadzeniem amfiboli lub biotytu. W wyniku wielokrotnego przeobrażenia skał metamorficznych Podborowiska trudno jest na podstawie dotychczasowych danych wnioskować o ewolucji tego zespołu.

Znaczna zmienność miąższości i stosunków ilościowych pomiędzy minerałami oraz wahania w koncentracji pierwiastków śladowych wskazywać mogą na osadowe pochodzenie tych skał. Ich stopień zaawansowania w procesie migmatyzacji znajduje odzwierciedlenie w zmianie zawartości Fe, Ti, Mn, Ni, Co, V, Cr.

AMFIBOLITY Z GRODZISKA

Amfibolity Grodziska odznaczają się mniejszym rozrzutem niektórych pierwiastków śladowych (fig. 7), głównie niklu i chromu. Amfibolity występujące w Grodzisku są w głównej mierze skałami dwuskładnikowymi, w których hornblenda i plagioklaz znajdują się w równowadze ilościowej. Zaburzenie tej równowagi przejawia się zmianą koncentracji niklu i chromu, często też i wanadu. Amfibolity Grodziska w porównaniu z współwystępującymi gnejsami kwarcowo-plagioklazowo-biotytowymi wykazują nieco wyższe średnie V, Cr, Ni, a mniejsze manganu. Kobalt w obu typach skał metamorficznych nawierconych w Grodzisku nie wykazuje zróżnicowania i występuje w ilości 20 ppm. Podwyższone w porównaniu z gnejsami zawartości pierwiastków śladowych grupy żelaza związane są z równoczesnym zwiększeniem ilości Fe, Mg, Ti, a te z kolei ze znaczniejszym udziałem procentowym minerałów femicznych.

AMFIBOLITY Z NOWOSADÓW — SKUPOWA

Amfibolity tego wiercenia przerastają się, podobnie jak w profilu skał metamorficznych Grodziska, z gnejsami kwarcowo-plagioklazowo-biotytowymi. Badania geochemiczne wykazały, że zawartości badanych pierwiastków uwarunkowane są składem mineralnym. Ponadto w skałach tych występują dość znaczne różnice w koncentracji niektórych pierwiastków śladowych nawet w obrębie jednego typu skały, nie różnicującej się petrograficznie (fig. 8). Amfibolity Grodziska, podobnie jak i gnejsy, w górnej partii rdzenia są bogatsze w chrom (120 ppm) i nikiel (45 ppm) aniżeli analogiczne skały w jego dolnym odcinku. Maksymalne zawartości tych pierwiastków są charakterystyczne dla amfibolitów występujących powyżej głębokości 768,0 m i wraz z jej wzrostem ulegają zmniejszeniu do 1÷10 ppm. Natomiast średnie zawar-

tości, które są wypadkową koncentracji tych pierwiastków w całym profilu, w przypadku niklu i kobaltu są takie same. Amfibolity Nowosadów — Skupowa zbudowane są głównie z plagioklazu i hornblendy zwyczajnej, którym w zmiennej ilości towarzyszą biotyt i kwarc. Skały występujące w górnej partii rdzenia nie różnią się od pozostałych ani rodzajem składników, ani też ich ilością, a zaobserwowane różnice sprowadzają się do zmian strukturalnych i teksturalnych. Podstawowy a zarazem pierwotny zespół mineralny (plagioklazowo-hornblendowy) nie wykazuje zróżnicowania metamorficznego. Stwierdzone różnice w koncentracji chromu, częściowo i niklu są prawdopodobnie związane z biotytem, który jest nierównomiernie rozmieszczony w stropowym odcinku rdzenia.

AMFIBOLITY Z WASIEK

Amfibolity nawiercone w Waśkach reprezentowane są również przez dwie odmiany, które występują w formie wkładek w leukokratycznej skale plagioklazowej. Zasadniczym typem są amfibolity o strukturze gabrowej, stanowiące masywną, zbitą skałę, na pograniczu której występują amfibolity o strukturze wstęgowej, przepojone kwarcem i węglanami. Oba typy amfibolitów pomimo niewielkich różnic w składzie mineralnym wykazują zdecydowanie odmienny charakter geochemiczny. Średnie koncentracje oznaczanych pierwiastków oraz ich minimalne i maksymalne odchylenia przedstawiono na fig. 9. Linia ciągłą połączono minimalne i maksymalne zawartości pierwiastków w amfibolitach o strukturze gabrowej, linią przerywaną — analogiczne zawartości w amfibolitach o strukturze wstęgowej.

Przeprowadzone badania wykazały, że amfibolity o strukturze gabrowej charakteryzują się najwyższymi zawartościami Fe, Mg i Ti. W skale tej stwierdzono też znaczne ilości Cr, Ni, V, Mn. Minimalne zawartości pierwiastków śladowych w tych amfibolitach są kilkakrotnie wyższe od średnich zawartości oznaczonych pierwiastków w amfibolitach o strukturze wstęgowej. Skały te różnią się też między sobą odmiennymi stosunkami pomiędzy pierwiastkami. Średnia zawartość niklu w amfibolitach o strukturze gabrowej wynosi 240 ppm i jest nieco wyższa od średniej ilości tego pierwiastka podanej przez A. P. Winogradowa (1962) dla skał gabrowych. Kobalt w obu odmianach amfibolitów występuje w ilości 20 ppm i odpowiada zawartościom tego pierwiastka oznaczonym w poprzednio opisanych amfibolitach i gnejsach rejonu Białowieży. Podobnie kształtują się zawartości wanadu. Natomiast chrom w amfibolitach o strukturze gabrowej osiąga zawartość 2000 ppm, a średnia koncentracja wynosi 1400 ppm. Z wykresu przedstawionego na fig. 9 widać, że zawartości pierwiastków grupy żelaza są zdecydowanie niższe w amfibolitach wstęgowych. W skałach tych zaobserwowano dziesięć razy mniej chromu i manganu oraz trzykrotnie mniej niklu. Amfibolity wstęgowe stanowiące poniekąd mieszaninę dwu skał, na których kontakcie występują, w wyniku zmiany stosunków ilościowych pomiędzy minerałami ciemnymi wykazują pośrednie między nimi zawartości pierwiastków. Skały te charakteryzują się również najniższymi w rejonie Białowieży zawartościami manganu.

LEUKOKRATYCZNA SKAŁA PLAGIOKLAZOWA Z WASIEK

Zespół mineralny tworzący leukokratyczną skałę plagioklazową podobny jest do tego, jaki występuje w amfibolitach z tą różnicą, że w skałce tej przeważającym składnikiem jest plagioklaz. Rozmieszczenie pierwiastków śladowych w leukokratycznej skałce plagioklazowej przedstawia fig. 10.

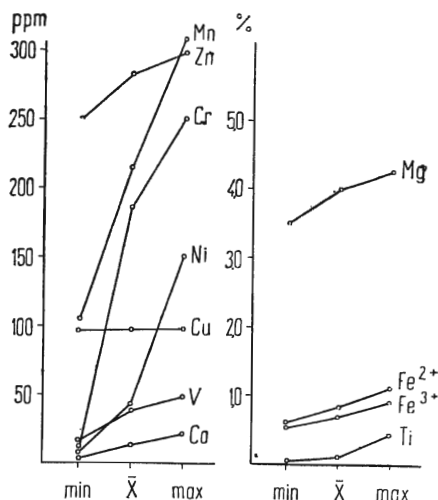


Fig. 10. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w leukokratycznej skałce plagioklazowej Wasiek
Scatter and mean content of chemical elements in the leucocratic plagioclase rock of Waśki

W wyniku nierównomiernego rozłożenia minerałów ciemnych w leukokratycznej skałce plagioklazowej obserwuje się znaczne wahania w koncentracji pierwiastków grupy żelaza, głównie niklu i chromu. Zawartości pozostałych pierwiastków kształtują się w ilości stwierdzonej w granitoidach i skałach zmigmatyzowanych z innych wierceń rejonu Białowieży. Wszystkie typy skał z Wasiek charakteryzują się odmiennymi stosunkami pierwiastków grupy żelaza i dużym zróżnicowaniem Ni, Cr, Mn, Ti. Pozostałe pierwiastki cechuje mniejsza dyspersja, a odchylenia od średnich uwarunkowane są zmiennym stosunkiem minerałów ciemnych.

HORNFELSY, SKAŁY EPIDOTOWE I SKAŁA AMFIBOLOWA Z KRZYŻY

Odrębnym zagadnieniem wymagającym osobnego potraktowania jest zespół metamorficzny występujący w Krzyżach oraz jego pozycja geochemiczna w odniesieniu do współwystępujących skał regionu Białowieży.

Skały prekambryjskie nawiercone w Krzyżach występują na skrajnie wschodnim elemencie strukturalnym, a ich stanowisko petrograficzne nie jest w pełni wyjaśnione. W skałach tych dominują hornfelsy, wśród których skały epidotowe i amfibolowe tworzą cienkie wkładki.

Hornfelsy charakteryzuje bogaty zespół mineralny, w skład którego wchodzi: mikroklin, plagioklaz, augit, hornblenda, hipersten oraz tlenki żelaza, apatyt, biotyt, chloryt, kalcyt. W skałce występują liczne laminy kwarcowe, mikroklinowe, plagioklazowe, piroksenowe, hornblendowe i inne.

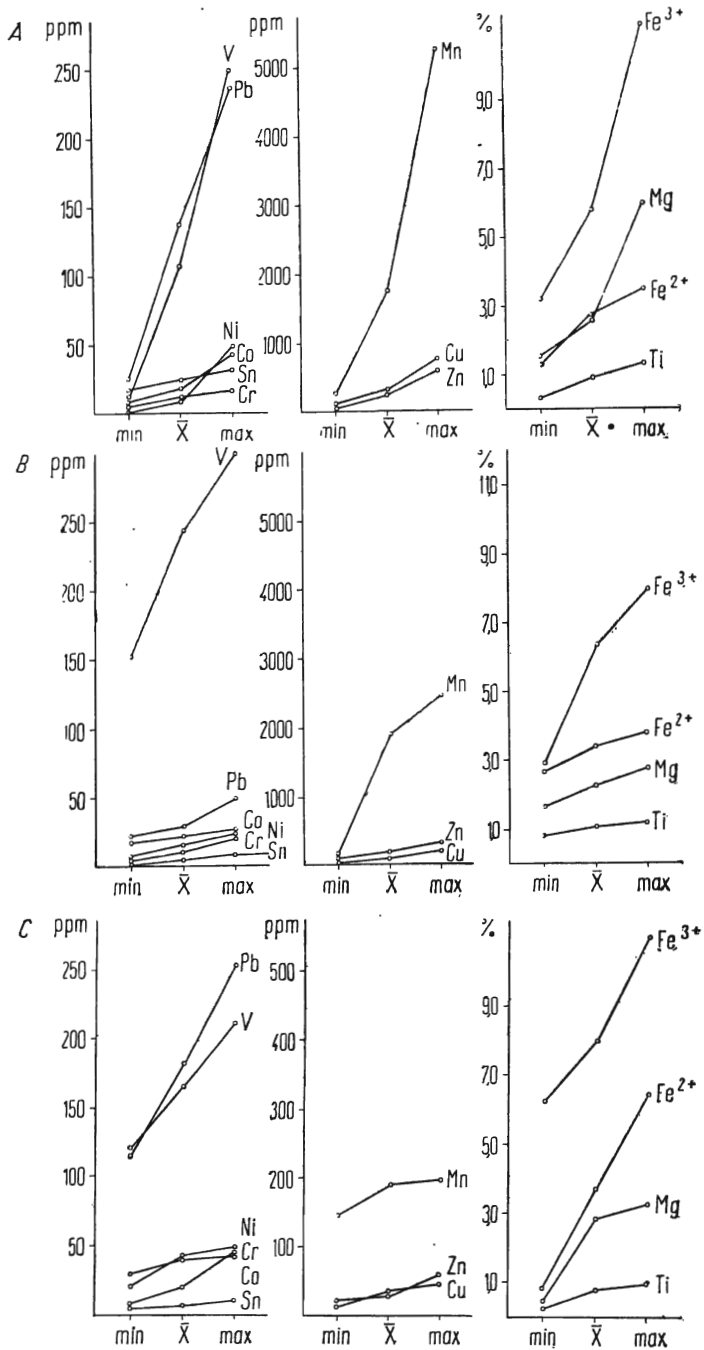


Fig. 11. Rozrzut oraz średnia zawartość pierwiastków w skałach metamorficznych Krzyży
Scatter and mean content of chemical elements

→

Skały występujące w Krzyżach odznaczają się zdecydowaną przewagą Fe_2O_3 nad FeO . Drugą cechą tych skał są bardzo niskie zawartości niektórych pierwiastków grupy żelaza, zwłaszcza niklu i chromu. Kobalt i wanad oznaczono w ilościach odpowiadających średnim zawartościom tych pierwiastków w innych skałach rejonu Białowieży. Pomiędzy skałą amfibolową, epidotową oraz hornfelsami nie widać istotnych różnic w zawartościach omawianych pierwiastków. Jedynie hornfelsy wykazują minimalne zawartości niklu ($3\div 10$ ppm) i chromu $5\div 10$ ppm, natomiast kobalt podobnie jak i w pozostałych skałach rejonu Białowieży utrzymuje się na poziomie 20 ppm. Zawartości manganu i wanadu nie odbiegają od średnich koncentracji tych pierwiastków w innych typach skał. Hornfelsy przechodzą stopniowo w skałę zepidotyzowaną, w której w miarę zwiększania się ilości epidotów wzrasta ilość niklu, kobaltu,

Fig. 12. Stosunek żelaza dwuwartościowego do trójwartościowego w skałach metamorficznych rejonu Białowieży

Relation between the bivalent and trivalent iron in the metamorphic rocks of the Białowieża region

1 — amfibolity gabrowe Wasiek; 2 — granodiority Rajska; 3 — amfibolity i skały amfibolowe; 4 — hornfelsy; 5 — gnejsy; 6 — skała epidotowa; 7 — leukokratyczna skała plagioklazowa; 8 — migmatyty i skały zmigmatyzowane

1 — gabbro amphibolites of Waśki; 2 — granodiorites of Rajsk; 3 — amphibolites and amphibolite rocks; 4 — hornfelses; 5 — gneisses; 6 — epidote rock; 7 — leucocratic plagioclase rock; 8 — migmatites and migmatite rocks

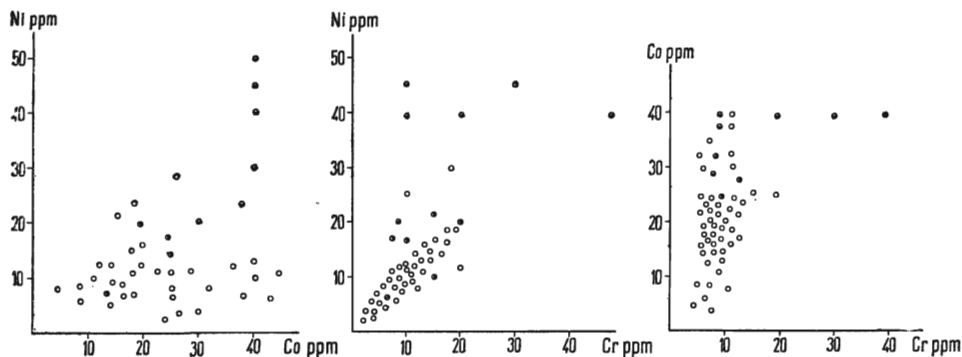
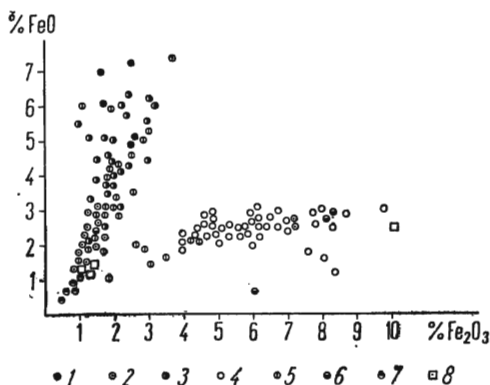


Fig. 13. Stosunki Ni/Cr, Ni/Co, Co/Cr w skałach metamorficznych Krzyże
Ni/Cr, Ni/Co and Co/Cr relations in the metamorphic rocks of Krzyże
Objaśnienia jak na fig. 12
Explanations as in Fig. 12

in the metamorphic rocks of Krzyże
A — hornfelsy; B — skały epidotowe; C — skały amfibolowe
A — hornfelses; B — epidote rocks; C — amphibole rocks

chromu. Skała amfibolowa z Krzyży tworzy cienką wkładkę w masie hornfelsów. W skałe tej Ni, Cr i Mn wykazują pośrednie zawartości pomiędzy skałą epidotową a hornfelsiem. Podwyższone zawartości tych pierwiastków w skałe epidotowej są przypuszczalnie związane z lokalnym nagromadzeniem epidotu i hornblendy, którym towarzyszą liczne uwodnione tlenki żelaza. Znaczna ilość tych składników w skałach Krzyży jest w pewnym stopniu wyrazem stosunku FeO/Fe_2O_3 i stanowi o odrębności skał Krzyży w rejonie Białowieży. Z badań petrograficznych wynika, że występujące w Krzyżach typy skalne stanowią odmienne, nie związane genetycznie typy. Według W. Ryki (1967) geneza skały amfibolowej związana jest z przeobrażeniem skały wulkanoklastycznej, a skała epidotowa jest prawdopodobnie zmienionym hornfelsiem.

Tabela 3

Średnie zawartości niektórych pierwiastków w różnych typach skał serii białowiejskiej

Rodzaj skały	Fe	Mg	Ti	Fe+2	Ni	Co	V	Cr	Mn
	w %			Fe+3					
Ortoamfibolity Wasiek	7,00	8,25	0,50	3,40	240	20	140	1400	9200
Amfibolity	7,40	6,70	0,48	2,16	50	20	130	125	1500
Gnejsy	6,30	2,15	0,30	1,74	30	20	140	80	2100
Leukokratyczna skała plagioklazowa	1,80	1,90	0,08	1,30	35	10	35	180	260
Granitoidy	4,00	3,00	0,36	1,37	30	15	80	50	900
Migmatyty	3,85	2,80	0,30	1,64	8	8	20	5	1600
Hornfelsy	8,60	2,70	0,90	0,45	10	20	120	10	1600
Skały amfibolowe	11,50	2,80	0,80	0,36	40	40	160	20	1900
Skały epidotowe	10,40	2,40	1,05	0,63	20	20	230	10	1800

Badania geochemiczne nie wykazały zróżnicowania pomiędzy skałami Krzyży. Stosunki pierwiastków grupy żelaza są w hornfelsach i skałe amfibolowej zbliżone, podobnie jak zakres zawartości tych pierwiastków. Fig. 11 przedstawia średnie zawartości oraz ich rozrzuty w skałach metamorficznych Krzyży. Na fig. 12 zobrazowano stosunki niklu do chromu i kobaltu. Zależność niklu od chromu jest w skałach Krzyży podobna do pozostałych skał rejonu Białowieży, natomiast pozostałe stosunki, a zwłaszcza stosunek FeO/Fe_2O_3 (fig. 13) oraz dane zestawione w tab. 3 podkreślają ich odmienny charakter.

UWAGI PETROGENETYCZNE NA TLE WYNIKÓW BADAŃ GEOCHEMICZNYCH

Rozmieszczenie szeregu pierwiastków chemicznych w różnych skałach i produktach ich przeobrażeń pozwala wnioskować o migracji składników oraz roli czynników fizyczno-chemicznych podczas metamorfozy. Niektóre pierwiastki śladowe w skałach metamorficznych są zwykle pozostałością po skałe macierzystej. Pierwiastki bardziej ruchliwe w wyniku różnych procesów (metasomatozy, migmatyzacji) mogą dostać się tam lub też mogą zostać odprowadzone poza obręb środowiska, w którym dane procesy przebiegały. Dlatego też skład skały zmetamorfizowanej nie odzwierciedla jednoznacznie jej pochodzenia, lecz stanowi wypadko-

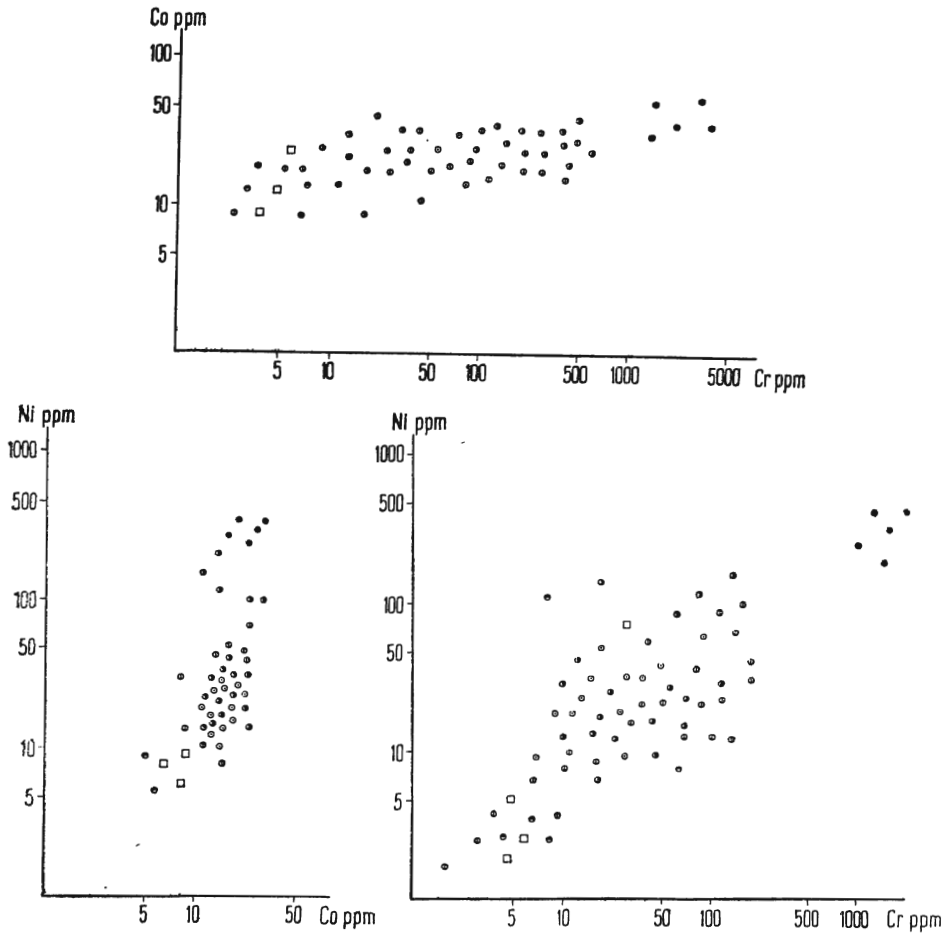


Fig. 14. Rozkład częstotliwości występowania Ni, Co, V, Cr, Mn w skałach metamorficznej serii białowieckiej

Frequency of Ni, Co, V, Cr, Mn in the metamorphic rocks of the Białowieża series

Objaśnienia jak na fig. 12
Explanations as in Fig. 12

wą wielu czynników. Trudności ustalenia genezy i macierzystego zespołu skał metamorficznych rejonu Białowieży wynikają z ich prawie całkowitej przebudowy w ostatnim etapie przeobrażeń. Duża różnorodność struktur i tekstur, znaczny udział w budowie skały minerałów wtórnych utrudniają badanie ewolucji tych skał. W tych właśnie przypadkach kryteria geochemiczne pozwalają niejednokrotnie na uściślenie poglądów dotyczących pierwotnego składu skał. W celu prześledzenia rozprzestrzenienia Ni, Co, V, Cr, Mn przeprowadzono analizę rozkładów częstotliwości ich koncentracji w skałach metamorficznych serii białowieckiej. Histogramy sporządzono na podstawie szeregów rozdzielczych zawartości tych pierwiastków w układzie: częstość w procentach — logarytm stężenia badanego pierwiastka (fig. 14). Większość krzywych dystrybucji

posiada charakter złożony i należałoby je rozpatrywać jako zespół większej ilości populacji. Wielomodalny rozkład obserwowany w większości przypadków wskazuje na kilka nałożonych populacji, które są wyrazem nierównomiernego występowania niektórych pierwiastków i przywiązania ich do pewnych grup skał, co świadczy o niejednorodności materiału, podlegającego procesom metamorficznym. Różnorodność ta spowodowana jest nie zawsze para- lub ortometamorficznym charakterem materiału. Niekiedy niektóre pierwiastki, np. chrom, wykazują znaczne zmiany koncentracji nawet w obrębie skał wspólnego pochodzenia. Badania ostatnich lat dowiodły, że chrom wykazuje największe wahania zawartości w seriach wulkanicznych, co związane jest z wielką wrażliwością tego pierwiastka na frakcjonalną dyferencjację magmy (L. R. Wager, R. L. Mitchell, 1951; H. W. Fairbairn, L. Ahrens, L. G. Gornfinkel, 1953; M. Mathias 1957; F. Fröhlich, 1960; K. K. Turekian, H. M. Carr, 1960; K. K. Turekian, 1963). Duże rozbieżności w zawartości chromu stwierdzono też w produktach erupcji wulkanicznych w rejonie Wysp Kurylskich (W. N. Gorkun, R. J. Rodionowa, W. J. Fedorczenko, W. J. Sziłow, 1963). W. Narębski (1966) zalicza również chrom do pierwiastków o największej zmienności w amfibolitach spitsbergeńskich. Jak wynika jednak z badań wielu autorów, chrom podczas przemian związanych z metamorfizmem regionalnym jest w zasadzie słabo ruchliwy i dlatego może być wskaźnikiem pochodzenia (K. K. Turekian, M. H. Carr, 1960; K. S. Heier, 1962; A. P. Miłowski, 1964). Według F. Fröhlich (1960) dolna zawartość chromu w amfibolitach wynosi na ogół 150 ppm, podczas gdy najwyższa stwierdzona zawartość tego pierwiastka w amfibolitach powstałych z przeobrażenia osadów marglistych wynosi 20 ppm. Geneza amfibolitów o pośredniej zawartości chromu jest zdaniem tego autora z geochemicznego punktu widzenia niepewna. Podobny wniosek wyciąga na podstawie swych danych A. P. Miłowski (1964), który dla ortoamfibolitów podaje średnią 210 ppm, przy zawartości 78 ppm chromu w paraamfibolitach. W obu genetycznych odmianach ilość wanadu jest według tego autora prawie taka sama.

Jak wynika z rozkładu chromu w skałach metamorficznych rejonu Białowieży, pierwiastek ten charakteryzuje się znaczną dyspersją z tendencją do asymetrii ujemnej. Wielomodalny rozkład obserwowany jest ponadto w przypadku niklu i wskazuje również na kilka nałożonych populacji, będących wyrazem nierównomiernego występowania tego pierwiastka i przywiązania pewnych zakresów zawartości do niektórych grup skał. Na rozkład chromu i niklu wpłynęło wiele czynników. Z analizy krzywej dystrybucji chromu w skałach Białowieży wynika znaczne zróżnicowanie tego pierwiastka obserwowane w czterech zdecydowanych populacjach.

Pierwszą populację powodują skały Krzyży, w których chrom występuje w zawartościach 1÷25 ppm. Następną populację, obejmującą zakres 25÷100 ppm, należy odnieść do granodiorytów Rajska oraz gnejsów i amfibolitów Nowosadów — Skupowa i Podborowiska. Trzecią populację warunkuje grupa amfibolitów i gnejsów Grodziska, skał plagioklazowych i amfibolitów o teksturze wstęgowej z Wasiek. Ostatnia, odrębnie usytuowana populacja, obejmuje skały o wysokiej koncentracji chromu (2500÷3980 ppm) i reprezentuje amfibolity o strukturze gabrowej. Skały

te wykazują ponadto znaczne zawartości niklu wynoszące średnio 290 ppm i zaznaczają się również w postaci osobnej, oddzielnej populacji na krzywej dystrybucji niklu. Krzywą rozkładu niklu w skałach Białowieży cechują, podobnie jak i krzywą dystrybucji chromu, wielomodalność, duża dyspersja i asymetria ujemna. W rozbiciu na układy częściowe poszczególne populacje odpowiadają różnym skałom. Populacja w obrębie najniższych zawartości niklu spowodowaną jest rozkładem tego pierwiastka w skałach Krzyży, a także w gnejsach Nowosadów — Skupowa oraz migmatytach i skałach zmigmatyzowanych. Pozostałe populacje odpowiadają amfibolitom o strukturze gabrowej z Wasiek oraz gnejsom z Podborowiska, Grodziska i amfibolitom z Nowosadów — Skupowa, Grodziska i Podborowiska. Natomiast krzywe rozkładu wanadu, manganu i kobaltu są w skałach Białowieży prawie symetryczne, jedno-modalne i nie wykazują większego zróżnicowania.

Wśród zbadanych skał rejonu Białowieży pewne anomalie geochemiczne stwierdzono w obrębie skał Krzyży, w których pomimo znacznych zawartości żelaza, tytanu i magnezu towarzyszące im pierwiastki śladowe, takie jak chrom i nikiel, występują w znikomej ilości. Ponadto istotną cechą tych skał jest stosunek dwu- do trójwartościowego żelaza. Prawdopodobnie skały te, powstałe w wyniku procesów metamorfizmu kontaktowego, należy wiązać z makrostrukturami magmowymi z terenu Białorusi lub też z ortometamorficznymi skałami występującymi w Waśkach. Zjawiska obniżonej zawartości chromu i niklu w tych skałach spowodowane mogą być prawdopodobnie wtórnymi, lokalnymi przemieszczeniami składników w trakcie procesów metamorficznych lub też związać je należy ze zmetamorfizowanym materiałem osadowym ubogim w te pierwiastki.

Badania geochemiczne amfibolitów rejonu Białowieży mimo pewnych ogólnych cech wspólnych wykazały obecność kilku odmian różniących się głównie zawartościami niklu i chromu. Chrom, jak poprzednio wykazano, jest pierwiastkiem o znacznej zmienności, choć zdaniem wielu autorów jest mało ruchliwy w procesach związanych z metamorfizmem regionalnym. W amfibolitach Białowieży nikiel podobnie jak i chrom wykazuje duże zróżnicowanie i w związku z tym mógłby być dobrym wskaźnikiem. Wanad w amfibolitach tego rejonu występuje w zmiennych ilościach uzależnionych często od obecności tytanomagnetytu; zawartość jego waha się w granicach 70÷230 ppm.

Niektóre amfibolity rejonu Białowieży są niewątpliwie magmowego pochodzenia (Waśki) i powstać mogły w wyniku przeobrażenia subwulkanicznych żył pokładowych skał zasadowych lub tufogenicznych erupcji bazaltowych wcześniejszej fazy. Znaczny spadek zawartości niektórych pierwiastków śladowych w amfibolitach o teksturze wstęgowej z wiercenia w Waśkach spowodowany być może rozcieńczeniem tych pierwiastków w wyniku kontaktu z leukokratyczną skałą plagioklazową. Pochodzenie pozostałych amfibolitów tego rejonu, stwierdzonych w Podborowisku, Grodzisku i Nowosadach — Skupowie, jest z geochemicznego punktu widzenia niepewne. Zakres zawartości pierwiastków grupy żelaza zajmuje pośrednie położenie pomiędzy średnimi tych pierwiastków w skałach zasadowych (bazalt, gabro) a średnią charakterystyczną dla osadów marglistych jako ewentualnego materiału wyjściowego do po-

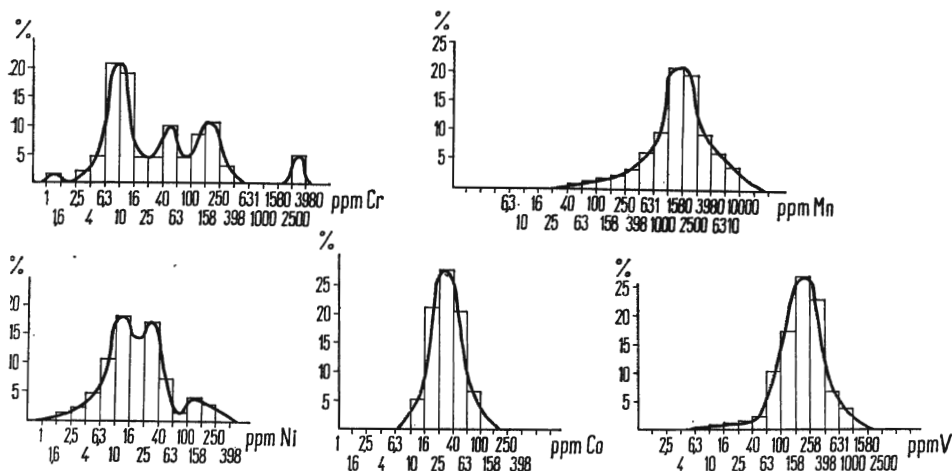


Fig. 15. Stosunki Ni/Co, Ni/Cr, Co/Cr w skałach metamorficznych Podborowiska, Grodziska, Nowosadów — Skupowa, Wasiek, Rajska

Ni/Co, Ni/Cr and Co/Cr relations in the metamorphic rocks of Podborowisko, Grodzisko, Nowosady — Skupowo, Waśki and Rajsk

Objaśnienia jak na fig. 12

Explanations as in Fig. 12

wstania tych skał. Również podobieństwo ze współwystępującymi gnejsami i liczne przejścia amfibolitów w tym kierunku sugerować mogą osadowe pochodzenie macierzystego zespołu Podborowiska i Grodziska.

W gnejsach rejonu Białowieży stwierdzono Ni, Co, V, w ilości znacznie przewyższającej klarki danych pierwiastków w kwaśnych skałach magmowych. Zawartości tych pierwiastków są natomiast zbliżone do średnich, jakie podaje A. P. Miłowski (1964) dla paragnejsów krystaliniku platformy wschodnioeuropejskiej. Jak wykazały badania, wahania w koncentracji pierwiastków grupy żelaza obserwowane w gnejsach Białowieży wywołane są zmienną zawartością amfiboli, biotytu i magnetytu. Z danych A. P. Winogradowa (1962) wynika, że zawartość chromu w skałach osadowych może być kilkakrotnie wyższa aniżeli w granitoidach, stąd paragnejsy mogą zawierać znaczne ilości tego pierwiastka. Na fig. 15 przedstawiono zależności Ni/Co, Ni/Cr, Co/Cr. Na wykresie tym gnejsy i amfibolity Podborowiska, Grodziska i Nowosadów — Skupowa tworzą jedno ugrupowanie, przy czym amfibolity z Wasiek zajmują wydzielone pole. W tab. 3 zestawiono średnie zawartości pierwiastków grupy żelaza w skałach metamorficznych serii białowiejskiej. Niektóre zespoły skalne wykazują znaczne podobieństwo geochemiczne ze skałami nawięzonymi w rejonie Sokółki i Krynek.

WNIOSKI

Skały badanego regionu zaszeregowane do tzw. serii białowiejskiej reprezentują pod względem geochemicznym zróżnicowane typy.

Stwierdzono ogólną tendencję do podwyższonej koncentracji pierwiastków o ograniczonej zdolności migracji, takich jak chrom, wanad, tytan zarówno w gnejsach, jak i amfibolitach różnego pochodzenia.

Zaobserwowano stabilność w rozłożeniu kobaltu we wszystkich skałach rejonu Białowieży niezależnie od charakteru skały, jak i miejsca jej występowania.

Opierając się na wykształceniu litologicznym skał, danych mikroskopowych oraz analizie wykresów geochemicznych wydzielono w skałach metamorficznej serii białowieskiej kilka różnicujących się geochemicznie grup skał. Dla poszczególnych zespołów skalnych podano zakres zawartości badanych pierwiastków oraz ich średnie. Zaobserwowano zmienne koncentracje głównie niklu i chromu. Wahania w zawartości tych pierwiastków są zazwyczaj związane ze składem mineralnym i charakterem chemicznym skały. Badania wykazały niewielkie zawartości tych pierwiastków w skałach z Krzyży oraz ich znaczną koncentrację w amfibolitach z Wasiek. Określenie średnich zawartości pierwiastków śladowych i stosunków pomiędzy nimi w różnych typach skał rejonu Białowieży pozwoliło na porównanie poszczególnych serii metamorficznych.

Stwierdzono, że procesy przeobrażeń niektórych minerałów i skał mają wpływ na koncentrację niklu, wanadu, kobaltu i chromu. Na przykład w wyniku migmatyzacji następuje obniżenie zawartości tych pierwiastków oraz zmiana stosunków pomiędzy nimi. Duże zróżnicowanie oznaczonych pierwiastków w obrębie poszczególnych typów skalnych, głównie gnejsów i amfibolitów z Podborowiska, Grodziska, Nowosadów — Skupowa, nie zawsze związane jest ze zmianą składu mineralnego i może wskazywać na pierwotną zmienność kompleksu w wyniku cyklu sedymentacyjnego. Trudności w ustaleniu genezy niektórych skał oraz ich macierzystego zespołu wynikają z prawie całkowitej ich przebudowy wskutek procesów metamorficznych. Zakres koncentracji pierwiastków śladowych grupy żelaza w skałach metamorficznych rejonu Białowieży, z wyjątkiem skał Krzyży i amfibolitów z Wasiek, jest podobny we wszystkich seriach metamorficznych, a także w skałach osłony granitoidowej (Rajsk, Rajgród). Przeprowadzone badania określiły charakter geochemiczny badanych skał oraz dostarczyły wskaźników umożliwiających porównywanie zespołów metamorficznych kompleksu podlaskiego. Z badań geochemicznych wynika, że serie skał metamorficznych z Krzyży stanowią odrębną jednostkę w porównaniu z zachodnią strefą skał metamorficznych nawierconych w Podborowisku, Grodzisku, Waškach i Nowosadach — Skupowie.

Zakład Geochemii
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano 7 października 1967 r.

PIŚMIENNICTWO

- FAIRBAIRN H. W., AHRENS L. H., GORNFINKEL L. G. (1953) — Minor element content of Ontario diabase. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, **20**, p. 215—240. Oxford.
- FRÖHLICH F. (1960) — Beitrag zur Geochemie des Chroms. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, **20**, p. 215—240, nr 3/4. Oxford.

- HEIER K. S. (1962) — The possible origins of amphibolites in an area of high metamorphic grade. *Norsk. Geol. Tidskr.*, **42**, p. 157—165, nr 1/2. Oslo.
- MATHIAS M. (1957) — The geochemistry of the Messum Complex. South-West Africa. *Geochem. et Cosmoch. Acta*, **12**, p. 82—103, nr 1/2. Oxford.
- NARĘBSKI W. (1966) — Geochemia pierwiastków grupy żelaza w amfibolitach formacji Hecla Hock Ziemi Jarlsberga (Spitsbergen zachodni). *Arch. miner.*, **26**, p. 167—204, nr 1/2. Warszawa.
- RYKA W. (1964) — O budowie i stratygrafii krystaliniku północno-zachodniej Polski. *Kwart. geol.*, **8**, p. 42—57, nr 1. Warszawa.
- RYKA W. (1967) — Budowa i skład petrograficzny krystaliniku w rejonie Białowieży — Białegostoku. *Biul. Inst. Geol.*, **207**, p. 3—52. Warszawa.
- TUREKIAN K. K. (1963) — The chromium and nickel distribution in basaltic rocks and ecklogites. *Geochem. et Cosmoch. Acta*, **27**, p. 835—846, nr 7. Oxford.
- TUREKIAN K. K., CARR M. H. (1960) — The geochemistries of chromium, cobalt and nickel. *Intern. Geol. Congress, Report 21 Session Norden*, **1**, p. 14—26. Copenhagen.
- WAGER L. R., MITCHELL R. L. (1951) — The distribution of trace elements during strong fractionation of basic magma. *Geochem. et Cosmoch. Acta*, **1**, p. 129—140, nr 3. Oxford.
- ВИНОГРАДОВ А. П. (1962) — Средние содержания химических элементов. *Геохимия*, **7**, стр. 555—571. Москва.
- ГОРКУН В. Н., РОДИНОВА Р. И., ФЕДОРЧЕНКО В. И., ШИЛОВ В. И. (1963) — О распределении некоторых малых элементов в лавах в северной части хребта Вернадского на острове Парамушир. *Петрохимические особенности молодого вулканизма*, стр. 89—103. Москва.
- МИЛОВСКИЙ А. П. (1964) — Хром, ванадий и никель в орто- и паранородах. *Геохимия*, **9**, стр. 893—897. Москва.

Анна ДЗЕДЗИЦ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОВЕЖСКИХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Резюме

Прослежен и рассмотрен ряд микроэлементов и сопутствующих элементов в метаморфических породах Беловежского района. Целью этих исследований было определение группы элементов и их концентрации в породах различного типа, а также определение характера зависимости между микроэлементами и химическим и минеральным составом пород. В результате проведенных исследований выяснено содержание Ni, Co, V, Cr, Mn, Pb, Cu, Zn, Ga, Mo, Ag, а также рассмотрено отношение этих элементов к Ti, Fe, Mg. Определено, что проанализированная группа микроэлементов, за исключением Mo, Ag, Mn, находится во всех исследованных типах пород. Самая высокая концентрация элементов группы железа (Ti, Ni, Co, V, Cr, Mn) связана с амфиболитами габбровой структуры, вскрытыми скважиной в Васьках. Гнейсы же характеризуются значительной изменчивостью концентрации вышеперечисленных элементов, что тесно связано с их изменчивым минеральным составом. Содержание кобальта во всех исследованных породах Беловежского района не

отличается существенным различием и встречается в количествах порядка 10—30 г/т. Из всех перечисленных элементов самыми большими колебаниями концентрации отличаются никель и хром. В амфиболитах беловежской серии хром содержится в количествах 5—2000 г/т, содержание никеля также значительно колеблется и его содержание определяется в границах 15—330 г/т. Подтверждено, что встречаются амфиболиты беловежской серии двух различных генетических типов. Вычислены и сопоставлены средние концентрации анализированных элементов, а также рассмотрены соотношения и произведена корреляция между элементами в границах метаморфической серии. Произведен статистический анализ распределения частоты залегания Ni, Co, V, Cr, Mn в породах беловежской серии. В результате проведенных исследований получены показатели, дающие возможность сравнения метаморфических групп различных серий подлясского метаморфического комплекса.

Anna DZIEDZIC

GEOCHEMICAL RESEARCHES OF THE BIAŁOWIEŻA METAMORPHIC ROCKS

Summary

Some trace elements that occur in the metamorphic rocks of the Białowieża region were investigated and discussed. The purpose of the investigation was to determine the assemblage of chemical elements and the concentration of these elements in the individual rock types, as well as to define the character of the relation existing between the trace elements and the chemical and mineral composition of rocks. As a results of the studies, Ni, Co, V, Cr, Mn, Pb, Sn, Cu, Zn, Ga, Mo and Ag contents were determined, and the behaviour of these chemical elements was ascertained in relation to Ti, Fe and Mg. It was also ascertained that the analysed assemblage of trace elements occurs, except for Mo, Ag and Sn, in all the rock types examined. The highest concentrations of the chemical elements of iron family (Ti, Ni, Co, V, Cr and Mn) are related to the amphibolites from Waški, characterized by gabbro texture. Gneisses, in turn, are distinguished by a considerable change in concentration of the chemical elements mentioned above. The change is closely connected with their varying mineral composition. In all the rocks of the Białowieża region, cobalt does not show any essential differentiation and occurs from 10 to 30 ppm. Among the chemical elements here determined, both nickel and chromium show the greatest change in concentration. In the amphibolites of the Białowieża series, chromium occurs from 5 to 2000 ppm; nickel also ranges widely, its content amounting to 15—330 ppm. It has also been ascertained that the amphibolites of the Białowieża series occur in two genetically different types. The average concentrations of the chemical elements here analysed were calculated and summed up, and the relations and correlations between the chemical elements of the metamorphic series were determined. Furthermore, a statistical analysis of Ni, Co, V, Cr and Mn frequency in the rocks of the Białowieża series was made. The results of the examinations allowed the present author to obtain parameters useful in comparing the metamorphic assemblages of various series of the Podlasie metamorphic complex.