

**MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA BADAŃ PALEOMAGNETYCZNYCH  
W ZAGADNIENIACH GEOFIZYCZNYCH I GEOLOGICZNYCH**

UKD 550.382.3:550.838(100+438)

Paleomagnetyzm jest młodą dziedziną geofizyki, która daje możliwość poznania historii ziemskiego pola magnetycznego przez badania namagnesowania szczątkowego skał. Badania paleomagnetyczne, za pomocą których obecnie geofizyka stara się wyjaśnić historię pola magnetycznego Ziemi i czynniki powodujące zmiany tego pola w okresie rozwoju naszego globu, dopomogą niewątpliwie do poznania natury ziemskiego pola magnetycznego, jego rozkładu przestrzennego i zmian w czasie.

Zmienność ziemskiego pola magnetycznego została stwierdzona już kilkaset lat temu, jednakże systematyczną rejestrację tych zmian rozpoczęto dopiero w pierwszej połowie ubiegłego wieku. Okres ten jest zbyt krótki by można było wyznaczyć jakąś prawidłowość, ustalić jakie to pole było w ciągu minionych lat i jakie ono będzie w przyszłości. Pierwszy krok dla rozwiązania tych zagadnień uczynili badacze, którzy zapoczątkowali badania namagnesowania szczątkowego skał i wykopalisk archeologicznych.

Określając, czy to w skałach, czy w wytworzonym przez człowieka wyrobie kierunek namagnesowania szczątkowego, wyznacza się kierunek pola magnetycznego odpowiadający momentowi powstania skał lub wytworzenia danego wyrobu.

Istotną różnicą pomiędzy badaniami archeologicznymi a paleomagnetycznymi polega na tym, że przy badaniach archeomagnetycznych obiektem badań są wyroby sporządzone przez ludzi, dzięki czemu bada się ziemskie pole magnetyczne w okresie historycznym, natomiast paleomagnetyzm zajmuje się badaniami pola w minionych epokach geologicznych od prekambriu do czwartorzęd. Z tego powodu badania paleomagnetyczne stają się obecnie coraz bardziej przydatne dla geologii. Szczególnie duże znaczenie mają one w przypadku, gdy wiek skał nie da się określić metodami klasycznymi.

#### PODSTAWY FIZYCZNE BADAŃ PALEOMAGNETYCZNYCH

W magnetyzmie skał bardzo istotną rolę odgrywa naturalne namagnesowanie szczątkowe  $J_n$  (względnie NRM wg literatury zachodniej). Można wyróżnić kilka rodzajów namagnesowania szczątkowego.

1. Namagnesowanie normalne (izotermiczne) występuje wówczas, gdy na ferromagnetyk przy stałej temperaturze działa słabe pole magnetyczne  $H$ . Pole  $H$  nie powoduje osłabienia przez ciało nasycenia namagnesowania i oznaczone jest przez  $J_r$  (JRM).

2. Idealne namagnesowanie szczątkowe  $J_r$  (ARM) powstaje wówczas, gdy oprócz stałego pola działa na ferromagnetyk pole zmienne o amplitudzie malejącej do zera.

3. Jeżeli ferromagnetyk stygnie od temperatury początkowej wyższej od punktu Curie do temperatury otoczenia, a jednocześnie działa na niego stałe pole magnetyczne, to występuje zjawisko namagnesowania termicznego. Namagnesowanie szczątkowe w tym przypadku ma nazwę termoszczątkowego  $J_{rt}$  (TRM).  $J_{rt}$  nawet przy działaniu bardzo słabego pola magnetycznego osiąga dużą wartość. Podczas namagnesowania w danym polu  $J_r < J_{rt} < J_r$  ( $J_r$  — namagnesowanie szczątkowe indukowane), przy czym różnice są bardzo duże przy słabych polach. Przy natężeniu pola równym  $H$ , wymienione rodzaje namagnesowania osiągną jednakową wartość.

4. Gdy podczas namagnesowania jednocześnie ze stałym polem magnetycznym działają na ferromagnetyk zmienne naciski dynamiczne, powstaje dynamiczne namagnesowanie szczątkowe  $J_{rd}$  (DRM).

5. Chemiczne (krystalizacyjne) namagnesowanie szczątkowe  $J_{rc}$  (CRM) powstaje podczas krystalizacji lub rekrytalizacji ferromagnetyka w obecności pola magnetycznego.

6. Osadowe lub orientacyjne (detrytyczne) namagnesowanie szczątkowe  $J_{ro}$  powstaje wówczas, gdy cząsteczki ferromagnetyka osadzają się w środowisku wodnym w obecności pola magnetycznego orientują się zgodnie z kierunkiem tego pola.

7. Lepkie namagnesowanie szczątkowe  $J_{rv}$  (VRM). Istotną rolę przy tego rodzaju namagnesowaniu odgrywa czas. Gdy na ferromagnetyk przez bardzo długi okres działa słabe pole magnetyczne, to wielkość namagnesowania rośnie proporcjonalnie do logarytmu czasu. Należy zaznaczyć, że prawo logarytmicznej zmiany namagnesowania lepkiego w czasie jest słuszne tylko w przypadku małych wartości pola magnesującego.

#### NATURALNE NAMAGNESOWANIA SZCZĄTKOWE SKAŁ

Skałki tworzy zespół minerałów, wśród których występują minerały diamagnetyczne, paramagnetyczne i ferromagnetyczne. Dlatego też podatność magnetyczna  $\chi$  skał zależy od składu mineralnego, a przede wszystkim od obecności w skałach minerałów ferromagnetycznych. Dlatego prawa namagnesowania się ferromagnetyków można przyjmować jako prawo namagnesowania się skał.

Wszystkie skały podlegają wpływowi ziemskiego pola magnetycznego, powodującego naturalne magne-

sowanie się skał. Skały, które podczas powstawania lub w następnych okresach geologicznych podlegały wpływowi temperatury, nabywały namagnesowanie termiczne. Szczególnie duże namagnesowanie termiczne występuje w skałach, które stygły od temperatury wyższej od punktu Curie składników ferromagnetycznych. Do nich należą skały magmowe, przede wszystkim efuzywne, osiągające bardzo wysoką wartość  $J_{rt}$ . By w skałach (o temperaturze znacznie niższej od punktu Curie) powstało  $J_{rt}$  nabyte w polu ziemskim musi na nią działać pole rzędu kilkuset erstedów. Dlatego, aby zmienić się kierunek i wartość  $J_{rt}$  nabyte w polu ziemskim — potrzebne jest pole znacznie przeważające to, przy którym  $J_{rt}$  zostało nabyte, a co za tym idzie dowolna zmiana pola ziemskiego nie ma zasadniczego wpływu na  $J_{rt}$ . Po ostygnięciu skała zachowuje swoje namagnesowanie odpowiadające kierunkowi tego pola, które istniało w okresie tworzenia się skały i może znacznie różnić się od obecnego kierunku ziemskiego pola magnetycznego.

Dzięki powyższemu wszystkie skały efuzywne mają przynajmniej dwa rodzaje namagnesowania: termoszczątkowe, zachowane od okresu powstawania skały (lub od czasu ogrzania się do wysokich temperatur) oraz namagnesowanie indukcyjne  $J_i = \chi H$  nabyte w polu obecnym i zmieniające się razem z nim. Fakt zachowania przez skały efuzywne namagnesowania termoszczątkowego pozwala wykorzystać je do rozwiązywania problemów paleomagnetycznych.

Jednoczesne występowanie w skałach efuzywnych przynajmniej dwóch rodzajów namagnesowania powoduje, iż namagnesowania naturalne i indukcyjne różnią się na ogół między sobą kierunkiem, a wartość naturalnego namagnesowania szczątkowego jest znacznie większa od indukcyjnego.

Powstawanie naturalnego namagnesowania szczątkowego w skałach osadowych można wyjaśnić w następujący sposób. Podczas rozmywania lub wietrzenia skały macierzystej drobne cząsteczki ferromagnetyczne są znoszone przez wodę. Najmniejsze z nich mogą posiadać namagnesowanie spontaniczne, właściwe dla domen danego ferromagnetyka. Większe cząsteczki, składające się z kilku domen, zachowują namagnesowanie skały macierzystej. Dostając się do wody będą one układały się w określonych przypadkach zgodnie z kierunkiem ziemskiego pola magnetycznego. Ułożenie cząsteczek zależy bowiem przede wszystkim od ich kształtu i wymiarów, natężenia pola ziemskiego, wartości namagnesowania  $J_r$  oraz od ruchów wody, która je przenosi.

Podczas tworzenia się osadu cząstki ferromagnetyczne osadzają się razem z cząsteczkami dia i paramagnetycznymi. Po odwodnieniu osadu orientacja cząstek ferromagnetycznych zostaje utrwalona, a namagnesowanie szczątkowe jest zgodne z kierunkiem pola ziemskiego istniejącego podczas osadzenia się.

Najbardziej skomplikowane dla badań paleomagnetycznych są skały metamorficzne. Zależnie od rodzaju metamorfizmu, warunków powstawania, dalszej historii, składników ferromagnetycznych skały te mogą posiadać każdy ze znanych rodzajów namagnesowania. Nie można określić, który z nich jest dominujący. Namagnesowania w skałach metamorficznych mogły powstać w różnych okresach geologicznych, a tym samym mogą mieć różne kierunki, odpowiadające różnym kierunkom ziemskiego pola magnetycznego. Gdy np. skała namagnesowana pierwotnie termicznie i zawierająca w swym składzie tytanomagnetyt z punktem Curie około  $300^\circ$  i magnetyt z punktem Curie  $585^\circ$  podlegała wóbrnym procesom ogrzewania do temperatury  $300^\circ$ , to tytanomagnetyt otrzyma nowe namagnesowanie termiczne, natomiast magnetyt zmieni je tylko nieznacznie. Wreszcie tworzące się w wyniku procesu metamorfizacji kryształki ferromagnetyczne mogą posiadać namagnesowanie chemiczne, a jednocześnie w tej samej skałce będą kryształki, które nie uległy zmianom i zachowują namagnesowanie pierwotne.

Namagnesowanie się skał w kierunku zgodnym z kierunkiem ziemskiego pola magnetycznego może

następować tylko w przypadku budowy izotropowej. W rzeczywistości w większości przypadków występuje anizotropia własności magnetycznych, szczególnie w skałach o wyraźnej teksturze. Mogą występować dwa rodzaje anizotropii: anizotropia krystalograficzna i anizotropia kształtu. Pierwsza spowodowana jest istnieniem w ferromagnetyku tzw. osi łatwego i trudnego magnesowania się, które są określonymi osiami krystalograficznymi, różnymi dla kryształów o różnej siatce. Ten rodzaj anizotropii powoduje, że kierunek namagnesowania naturalnego od samego początku nie jest zgodny z kierunkiem pola ziemskiego.

Jednakże o wiele większy wpływ na namagnesowanie, szczególnie skał osadowych, posiada anizotropia kształtu. Gdy kształt ciała nie jest izometryczny wektor namagnesowania odchyła się w stronę dłuższej osi ciała od kierunku pola  $H$ . Przy dużych wartościach namagnesowania i mocno wydłużonym ciele, odchylenie może być bardzo znaczne.

Anizotropia własności magnetycznych, zależna od kształtu może występować w skałach pod dwiema postaciami: makroskopową i mikroskopową. Anizotropia makroskopowa związana jest z kształtem utworów geologicznych, natomiast anizotropia mikroskopowa zależy od kształtu cząsteczek ferromagnetyka występującego w skale. W procesie osadzania się cząsteczki w wodzie będą osadzały się osiami dłuższymi w kierunku ruchu wody, a w wodzie stojącej ułożą się poziomo. Dalsze osadzanie się w tym kierunku może doprowadzić do większej lub mniejszej niezgodności namagnesowania naturalnego z kierunkiem pola ziemskiego, istniejącego w okresie powstawania osadu.

Przedstawione wyżej problemy dotyczą procesów, w wyniku których skała nabywa namagnesowania podczas swego formowania się. Nie wyczerpuje to zagadnienia zjawisk namagnesowania szczątkowego istniejącego w skale w chwili obecnej. Skały w okresie swej historii podlegają ciągłym wpływom czynników fizycznych i procesom chemicznym. W ich wyniku pierwotne namagnesowanie szczątkowe może być zmienione częściowo lub całkowicie, wskutek czego może powstać nowy rodzaj namagnesowania wtórnego.

Z powodu skomplikowanego charakteru naturalnego namagnesowania skał powstają wątpliwości, czy są możliwe badania paleomagnetyczne, mające na celu określenie naturalnego namagnesowania szczątkowego skał oraz kierunku ziemskiego pola magnetycznego istniejącego w czasie powstawania skały. Odpowiedź na te wątpliwości można uzyskać dwoma sposobami. Pierwszy z nich polega na badaniu własności magnetycznych skał scharakteryzowanych krzywymi namagnesowania i rozmagnesowywania w różnych warunkach, natomiast drugi na analizie statystycznej kierunków namagnesowania szczątkowego, które w ciągu dziejów geologicznych polegały działaniu różnych czynników zewnętrznych. Analiza taka uzupełniana jest przez badania laboratoryjne, za pomocą których odtwarza się procesy powstawania naturalnego namagnesowania szczątkowego skał.

Jak widać, prowadzenie badań paleomagnetycznych możliwe jest wówczas, gdy w skałach można wyeliminować wpływ wtórnego, zmiennego namagnesowania i gdy został zachowany w nich ślad ziemskiego pola magnetycznego istniejącego w czasie powstawania skały. Obecnie uważa się, że tego rodzaju skał jest około 20% ogólnej ilości. Są to przede wszystkim niezmetamorfizowane skały magmowe i osadowe, o budowie jednorodnej (lawy bazaltowe, ciemne utwory ilaste, utwory o pierwotnym czerwonym zabarwieniu itp.). Uproszczone rozumowanie dla tego rodzaju skał polega na tym, że pierwotne namagnesowanie naturalne jest pochodzenia termomagnetycznego lub jednodomenowego i w porównaniu z innymi rodzajami namagnesowania szczątkowego jest najtrwalsze i największe.

W czasie przeprowadzania badań paleomagnetycznych wylania się problem związku między natu-

ralnym namagnesowaniem szczątkowym skały, a ziemskim polem magnetycznym w okresie jej powstawania. W tym celu należy określić, czy zostało zachowane namagnesowanie pierwotne skały oraz znaleźć jego wartość i kierunek, czyli należy określić stabilność magnetyczną skały i poznać, jakie jest pochodzenie namagnesowania pierwotnego i jaki ono ma związek z ówczesnym ziemskim polem magnetycznym, czyli znając  $J_n$  należy znaleźć wartość i kierunek  $H_0$ .

Ciekawym i ważnym dla geologii zjawiskiem przy badaniach paleomagnetycznych jest odwrotne namagnesowanie skał. Stwierdzono, że liczne skały posiadają naturalne namagnesowanie szczątkowe, którego kierunek jest odwrotny w stosunku do obecnego ziemskiego pola magnetycznego w obszarze występowania skały. Odwrotne namagnesowanie skał jest zjawiskiem bardzo częstym. Dotychczas ustalono, że w przekrojach geologicznych serii osadowych i wulkanicznych obserwuje się odcinki, zajmujące określone poziomy stratygraficzne ze skałami namagnesowanymi normalnie i odwrotnie.

Istnieją dwa poglądy dotyczące odwrotnego namagnesowania skał. Zgodnie z pierwszym, tzw. hipotezą samoodwrócenia namagnesowania jest ono wyjaśnione procesami fizyczno-chemicznymi, które powodują namagnesowanie się skał odwrotnie do ziemskiego pola magnetycznego. Druga hipoteza (nie wykluczająca w licznych przypadkach samoodwrócenia) zakłada, że podstawowym czynnikiem odwrotnego namagnesowania jest inwersja ziemskiego pola magnetycznego.

By ferromagnetyki w skale mogły magnesować się odwrotnie do zewnętrznego pola magnetycznego musi:

- a) występować w niej nie mniej niż dwa różne składniki ferromagnetyczne;
- b) ferromagnetyki muszą się bezpośrednio ze sobą kontaktować;
- c) muszą one magnesować się niejednocześnie.

Chociaż zjawisko samoodwrócenia namagnesowania szczątkowego skał zostało potwierdzone teoretycznie i doświadczalnie, to jednak zagadnienie rzeczywistej przyczyny tego zjawiska nie zostało ostatecznie rozwiązane. Istnieją fakty, których nie da się objaśnić mechanizmem samoodwrócenia, jak np. odwrotne namagnesowanie skał tego samego wieku na dużych obszarach kuli ziemskiej oraz periodyczne powtarzanie się odwrotnego i normalnego namagnesowania skał w przekroju geologicznym.

Na podstawie wykonanych dotychczas badań stwierdzono, że żadna z orzebadanych próbek skał efuzywnych i osadowych środkowego i górnego czwartorzędu nie ma odwrotnego namagnesowania szczątkowego, natomiast skały dolnego czwartorzędu i górnego pliocenu posiadają je bez wyjątku we wszystkich oróbkach orzebadanych na całej kuli ziemskiej. Dlatego obok hipotezy samoodwrócenia namagnesowania szczątkowego istnieje równoznaczna hipoteza inwersji ziemskiego pola magnetycznego. Według niej większość przypadków odwrotnego namagnesowania skał objaśnia się inwersją ziemskiej osi magnetycznej, czyli obrotem jej o  $180^\circ$ . Oznacza to, że w pewnych okresach ziemska oś magnetyczna posiadała jeden kierunek, a w następnych odwrotny.

#### ZADANIA I CEL BADAŃ PALEOMAGNETYCZNYCH

Podstawowym zadaniem badań paleomagnetycznych jest wyjaśnienie historii ziemskiego pola magnetycznego, istniejącego w okresie geologicznego rozwoju naszej planety. Wyjaśnienie to posiada odczytne znaczenie dla poznania natury ziemskiego pola magnetycznego oraz do interpretacji anomalii magnetycznych. Rozwiązanie tego zagadnienia może stanowić podstawy do wykorzystania badań paleomagnetycznych przy rozwiązywaniu konkretnych zadań geofizycznych i geologicznych.

Podstawową przesłanką badań paleomagnetycznych jest fakt, że skały podczas swego formowania się z wyjątkiem pewnych przypadków szczególnych, nabywają zawsze namagnesowania o kierunku zgodnym z kierunkiem działającego pola magnetycznego. Dlatego, gdy skały zachowują to namagnesowanie do chwili obecnej, mierząc kierunek naturalnego namagnesowania szczątkowego możemy określić kierunek pola ziemskiego, istniejącego w okresie formowania się danej skały w miejscu jej występowania.

Na podstawie wykonanych badań ustalono, że istnieje szereg skał, które zachowały do chwili obecnej kierunek  $J_n$ . Są to przede wszystkim skały o zabarwieniu czerwonym oraz skały magmowe. Badając naturalne namagnesowanie szczątkowe skał tego samego wieku na próbkach pobranych z różnych obszarów, można określić rozmieszczenie elementów ziemskiego pola magnetycznego: deklinacji  $D$  i inklinacji  $I$  dla danej epoki. Przenosząc te badania zmian kierunku namagnesowania szczątkowego wzdłuż profilu geologicznego otrzymuje się zmiany ziemskiego pola magnetycznego w danym rejonie w określonym odcinku czasu.

Otrzymane dotychczas wyniki badań wskazują, że ziemskie pole magnetyczne w minionych epokach geologicznych uległo zmianom. Istnieją trzy typy zmian kierunku  $J_n$  stabilnych magnetycznie skał badanych w profilu geologicznym.

1. Nieznaczące zmiany  $J_n$ , zbliżone do zmian wiekowych ziemskiego pola magnetycznego, obserwowane przy szczegółowej analizie przekrojów geologicznych, odpowiadających odcinkom czasu rzędu kilkudziesięciu tysięcy lat.

2. Gwałtowne zmiany kierunku  $J_n$  (zwane inwersją  $J_n$ ) zostały stwierdzone w określonych poziomach stratygraficznych, obejmujących odcinki czasu rzędu kilku milionów lat. Wzdłuż profilu geologicznego występują kolejno strefy normalnego i odwrotnego namagnesowania.

3. Bardzo rówolne, lecz znaczne zmiany kierunku osi pola ziemskiego, zgodnie z którą namagnesowane są skały. Zmiany te zaznaczają się w okresach kilkudziesięciu milionów lat.

Uzyskane dotychczas dane paleomagnetyczne wskazują na to, że pole magnetyczne Ziemi i w dawnych okresach miało charakter dipolowy, i że dipol ten był centralny i osiowy. Ponieważ pole dipola można określić przez wartość i kierunek jego momentu magnetycznego, natomiast wartość momentu magnetycznego na podstawie badań paleomagnetycznych nie można określić nie tylko z tego powodu, że nie są nam znane warunki, w jakich następowało namagnesowanie się skał, lecz także i dalsza historia ich namagnesowania się i rozmagnesowywania, dlatego obecnie badania ograniczone są do określenia kierunku osi magnetycznej, czyli do wyznaczenia współrzędnych położenia biegunów magnetycznych. Wyznaczanie ich oparte jest na założeniu, że deklinacja  $D_0$  i inklinacja  $I_0$ , określone z pomiarów wektora namagnesowania szczątkowego próbek skalnych odpowiadają kierunkom pola dipola.

Obecnie uważa się, że wyznaczone na podstawie wyników badań paleomagnetycznych bieguny magnetyczne są jednocześnie (w przybliżeniu) biegunami geograficznymi, a szerokości magnetyczne są szerokościami geograficznymi.

W ten sposób określono położenie biegunów magnetycznych dla różnych epok geologicznych i stwierdzono, że im dalej w przeszłość tym bardziej różni się ich lokalizacja w porównaniu z obecną. Ustalono drogę wędrówki biegunów poczynając od proterozoiku do czwartorzędu włącznie. Jednakże zależnie od tego, z którego kontynentu zostały pobrane próbki skalne, otrzymuje się dość znaczne różnice w przebiegu drogi wędrówki biegunów. Aby wytłumaczyć te różnice należałoby przyjąć, że pole magnetyczne w minionych epokach miało charakter multipolowy lub istniało na wielką skalę rozmieszczenie poziome mas skalnych względem siebie.

Większość badaczy stara się tłumaczyć to zjawisko poziomym dryfem kontynentów. Według tej hipotezy skały zostały namagnesowane jednocześnie na całej kuli ziemskiej zgodnie z kierunkiem pola magnetycznego Ziemi. Wskutek późniejszej zmiany konfiguracji kontynentów nastąpiła zmiana położenia przestrzennego, a tym samym uległ zmianie kierunek namagnesowania szczątkowego. Ponieważ dryf poszczególnych kontynentów odbywał się w różny sposób, dlatego kierunek  $J_n$  jest dla nich różny, co powoduje, że bieguny magnetyczne określane na podstawie badań paleomagnetycznych z jednego kontynentu nie pokrywają się z biegunami wyznaczonymi z innego. Przykładem tego mogą być wyniki otrzymane dla Ameryki i Europy. Bieguny magnetyczne, których położenie jest wyznaczone na podstawie skał Ameryki układają się systematycznie bardziej na zachód niż bieguny dla tych samych epok ze skał Europy. Według różnych autorów niezgodności te wynoszą kilkadziesiąt stopni.

Zwolennicy teorii mobilizmu mają swoich przeciwników, którzy starają się podważyć wiarygodność dryfu kontynentów, podając w wątpliwość również i wnioski wyciągane na podstawie wyników badań paleomagnetycznych. Przyczyną, która spowodowała zastrzeżenia wiarygodności otrzymywanych badań paleomagnetycznych jest przede wszystkim fragmentaryczność i szczupłość zebranego dotychczas materiału oraz dowolność metodyki badań. Obecnie obserwuje się dążność do ujednoczenia metodyki badań paleomagnetycznych oraz do wzrostu ich dokładności. Dokładność zwiększa się z jednej strony przez wprowadzenie ulepszonej aparatury, z drugiej zaś przez masowe pomiary próbek skalnych. Można przypuszczać, że obecne badania uwzględniające mankamenty i cechy dodatnie prac poprzednich badaczy dostarczą nowego materiału potwierdzającego teorię dryfu kontynentów.

Ciekawy jest fakt zgodności przemieszczania się bieguna, otrzymany na podstawie danych paleomagnetycznych i paleoklimatycznych. Zestawione wyniki tych badań przez Chramowa i Szwarbacha wykazały, że różnica położenia bieguna wynosi od  $6^\circ$  do  $27^\circ$  (w pliocenie  $6^\circ$ , w proterozoiku  $27^\circ$ ). Jak widać zgodność wyników jest bardzo dobra zwłaszcza, że dane te zostały otrzymane z zupełnie różnych źródeł. Stanowi to dodatkowy argument dla zwolenników teorii mobilizmu.

Poza wartością naukową, badania paleomagnetyczne prowadzone są także pod kątem możliwości ich praktycznego wykorzystania jako nowej metody badań geofizycznych, która z powodzeniem może być również stosowana do rozwiązywania problemów geologicznych.

Na podstawie badań paleomagnetycznych opracowano metody korelacji kompleksów skalnych. Jedną z nich jest metoda korelacji skał osadowych opracowana przez Chramowa, uwzględniająca normalne i odwrotne namagnesowania. Podstawą jej jest założenie, że jeżeli w jakimkolwiek okresie nastąpiła inwersja ziemskiego pola magnetycznego, to przed inwersją skały magnesują się w jednym kierunku, a po inwersji w odwrotnym. Wyznaczając taką granicę w różnych obszarach można ustalić korelację skał powstających jednocześnie. Dobre zgodności takiego rodzaju korelacji otrzymał A. N. Chramow dla obszarów zachodniej Turkmieni.

Obecnie najważniejszym celem stawianym przed badaniami paleomagnetycznymi przez geologię jest sporządzenie jednolitej dla całej kuli ziemskiej chronologicznej skali paleomagnetycznej, a następnie na jej podstawie skali stratygraficznej, do której można będzie dowiązywać wszystkie podziały lokalne. Możliwe to będzie wówczas, gdy zostaną określone z dużą dokładnością położenia biegunów magnetycznych w różnych okresach historycznego rozwoju Ziemi. Po zrealizowaniu powyższego można będzie dokładnie wyznaczyć wiek skał.

Duże usługi oddaje również paleomagnetyzm przy wyjaśnianiu problemów związanych z ruchami tek-

tonicznymi oraz mikrotektoniką danego obszaru. Jeżeli znany jest wiek skał i kierunek ich namagnesowania można określić przemieszczenie poziome wywołane ruchami tektonicznymi. Wiek skał można pominąć w przypadku, gdy wiemy, że przemieszczenia następowały na niewielkim obszarze i że badane skały są magnetycznie stabilne. W ten sposób, na podstawie wartości  $D_0$  i  $J_0$  otrzymanych z badań paleomagnetycznych, Irving i Tarling tłumaczą powstanie Monza Czerwonego, jako wynik obrotu Półwyspu Arabskiego w kierunku odwrotnym do ruchu zegara względem Afryki. Porównując położenie biegunów w trzaskie Clegg sugeruje obrócenie się Hiszpanii względem Afryki i Francji. Przykładów podobnego wyjaśnienia ruchów tektonicznych jest bardzo wiele.

Istotne znaczenie posiadają także badania paleomagnetyczne przy śledzeniu kolejności cykli erupcji wulkanicznych, zwłaszcza że zagadnienia tego nie można rozwinąć za pomocą klasycznych metod geologicznych. Tego typu badania prowadzone są przede wszystkim w Japonii.

Duże znaczenie posiadają laboratoryjne badania paleomagnetyczne nie tylko przy odtwarzaniu warunków tworzenia się skał i wyjaśnianiu ich rodzajów namagnesowania szczątkowego, lecz także i przy rozwiązywaniu i wyjaśnianiu wielu zagadnień mineralogicznych. Okazuje się, że przy badaniach mineralogicznych trudno jest oznaczyć obecność maghemitu, co bywa stosunkowo łatwe za pomocą badań paleomagnetycznych. Dużą rolę zaczynają odgrywać badania własności magnetycznych ferromagnetyków w niskich temperaturach (istnienie tzw. „pamięci magnetycznej” w hematycie i magnetycie), które dostarczają nowych danych o właściwościach minerałów i skał. Te wszystkie omówione czynniki powodują, że paleomagnetyzm zyskuje coraz większy rozwój, znaczenie i zastosowanie zarówno w sensie naukowym, jak i praktycznym.

Zdaniem większości badaczy obecnie paleomagnetyzm zarówno jako nauka, jak i możliwość praktycznego zastosowania przy rozwiązywaniu problemów geologicznych znajduje się w tej samej sytuacji, która istniała w połowie ubiegłego wieku w paleontologii i stratygrafii. Nie jest jednak porównywalne tempo rozwoju ich z rozwojem paleomagnetyzmu. Dzięki zebraniu obecnie dużej ilości materiałów i faktów odczuwa się konieczność pogłębienia zaniedbywanych dotychczas badań podstawowych. Istnieje pogląd, że dotychczasowe wyniki są w pewnym sensie wynikami przyozynkowymi, nie rozwiązującymi ostatecznie zagadnień geofizycznych i geologicznych.

Obecnie zwraca się uwagę na konieczność starannego doboru obiektów geologicznych, budowę odpowiedniej i o wysokiej dokładności aparatury, opracowanie odpowiednich metod pozwalających w prosty sposób określić parametry magnetyczne skał i wszelkich innych czynników, które stworzą możliwość otrzymania wyników o dużej dokładności, a tym samym dadzą podstawy na rozwiązanie większości zagadnień geofizycznych i geologicznych. Należy podkreślić, że rozwiązanie tych problemów będzie zależało i od tego, czy badania prowadzone będą we wszystkich krajach i kontynentach. Zebranie takiego materiału jest najpilniejszym zadaniem badań paleomagnetycznych.

Artykuł niniejszy nie wyczerpuje całości zagadnienia badań paleomagnetycznych. Zostały podkreślone z nich tylko niektóre ważniejsze, dając ogólne pojęcie o możliwościach tych badań.

Jeżeli chodzi o obecny stan badań paleomagnetycznych w Polsce, to należy stwierdzić, że jest on bardzo skromny. Poczynając od 1959 r. do chwili obecnej prowadzone są przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych na zlecenie Instytutu Geologicznego pomiary własności magnetycznych skał

(podatność magnetyczna, na magnesowanie szczątkowe i inklinacja), posiadające bardzo duże znaczenie dla interpretacji anomalii magnetycznych stwierdzonych na podstawie prospekcyjnych badań magnetycznych. Ponieważ przeważającą część próbek skalnych pobrano z rdzeni wiertniczych nie posiadających pełnej orientacji przestrzennej, nie można wykorzystać ich do określania wszystkich parametrów.

Pierwsze pełniejsze wyniki badań paleomagnetycznych zostały uzyskane przez K. Birkenmajera i A. E. M. Nairna. Badania wykonano na próbkach skał ogniowych z obszaru krakowskiego oraz półstrego płaskowca z Gór Świętokrzyskich. Pomiary parametrów wymienionych próbek skalnych były wykonywane w Anglii.

Od kilku lat opracowywane są przez J. Kruczyk z Zakładu Geofizyki PAN próbki skalne andezytów z rejonu Wżar. Całość prac pomiarowych prowadzona jest w ZSRR. Inne badania prowadzone w Zakładzie Geofizyki PAN (np. badania namagnesowania w niskich temperaturach) mają bardzo duże znaczenie dla problemu własności magnetycznych ferrytów. Należy ponadto nadmienić, iż od kilku lat w Obserwatorium Magnetycznym PAN na Helu kontynuowane są przez W. Czyszka badania archeomagnetyczne.

Jak widać z tego krótkiego przeglądu zakres prac paleomagnetycznych w Polsce do chwili obecnej jest bardzo skromny. Odczuwa się obecnie brak laboratorium wyposażonego w nowoczesną i o dużej dokładności aparaturę, umożliwiającą wykonywanie pełnego i kompletnego określania parametrów magnetycznych. Poza kompletnym wyposażeniem laboratorium niezbędna jest aparatura umożliwiająca dokładną orientację przestrzenną rdzeni wiertniczych, a tym samym uzyskanie próbek skalnych nadających się do badań paleomagnetycznych, również i z obszarów zakrytych.

Pewne możliwości zorganizowania laboratorium dla badań paleomagnetycznych powstają w związku ze współpracą Zakładu Geofizyki PAN, IPIG i IG. Można więc oczekiwać, że w ciągu najbliższych lat również w Polsce prowadzone będą badania paleomagnetyczne na szeroką skalę, a uzyskane wyniki pomogą w rozwiązywaniu zagadnień geofizycznych i geologicznych stojących przed paleomagnetyzmem.

#### LITERATURA

1. Birkenmajer K., Nairn A. E. M. — Studia paleomagnetyczne skał polskich. Permskie skały ogniowe obszaru krakowskiego i pewne wyniki z Gór Świętokrzyskich. Roczn. Pol. Tow. Geol., 1964, t. XXXIV, z. 1—2.
2. Burłackaja S. P., Pietrowa G. N. — Zmiany magnetycznego pola Ziemi w przeszłości po archeomagnetycznym, paleomagnetycznym i obserwacyjnym danym. Geomagn. i aeronomia. 1961, t. 1, nr 4.
3. Chramow A. N., Pietrowa G. N., Komarow A. G., Koczegura W. W. — Metodika paleomagnetycznych badań. Gostotiechizdat. Leningrad 1961.
4. Chramow A. N., Szolpo L. J. — Paleomagnetizm. Niedra. Leningrad 1967.
5. Irving E. — Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney 1964.
6. Janowski B. M. — Ziemia i magnetyzm. Izd. Len. Uniw. Tom I i II 1963, 1964.
7. Kruczyk J. — Paleomagnetic data obtained on the basis of preliminary investigations of the mountain Wżar (near Czorsztyn) andesites. Acta geophys. pol. 1966, vol. XIV, nr 2.
8. Nagata T. — Magnetizm gornych porod. Izd. In. Lit. Moskwa 1965.

## SUMMARY

At present, a considerable increase in palaeomagnetic researches can be observed throughout the world. Such an interest is a result of a rapid development of these researches in the last years, and of a possibility of applying them in solution and explanation of geophysical and geological problems. The article deals with the physical bases of the palaeomagnetic studies, as well as with the questions that can be explained using the methods considered. In addition, tasks which are to be solved by means of the palaeomagnetic methods are discussed, and state of palaeomagnetic researches carried on in Poland is presented, too.

## РЕЗЮМЕ

Во всем мире отмечается возрастание роли палеомагнитных исследований в применении к решению ряда геофизических и геологических проблем. В статье охарактеризованы физические основы палеомагнитных исследований, рассмотрены проблемы, которые можно решать при помощи этих исследований и задачи, возникающие в связи с развитием палеомагнетизма. В заключение представлено состояние палеомагнитных исследований в Польше.