JAN MAŠIN
Ústav užité geofyziky, Praha

LOTNICZE POMIARY GEOFIZYCZNE W CZECHOSŁOWACJI

1. WSTĘP

W CZECHOSŁOWACJI po drugiej wojnie światowej zaczęto stosować lotnicze pomiary geofizyczne w celu rozwiązywania szeregu problemów geologicznych.

Dokładne pomiary aeromagnetyczne zdały egzamin w toku badań obszarów perspektywicznych, jeśli chodzi o poszukiwania złóż ropy naftowej, a także przy badaniach struktury podłoża niecek osadowych.

Przy penetracji obszarów perspektywicznych pod względem występowania złóż rud doskonałe wyniki dają lotnicze pomiary magnetyczne i radiometryczne, uzupełnione w niektórych przypadkach pomiarami elektromagnetycznymi. Wykonanie lotniczych pomiarów geofizycznych trwa przy tym krótko, a koszty ich są znacznie niższe od nakładów koniecznych przy stosowaniu powierzchniowych pomiarów geofizycznych.

Z podanych wyżej względów zdecydowano zastosowanie lotniczych pomiarów magnetycznych i radiometrycznych przy nowym geologicznym i geofizycznym kartowaniu całego obszaru ČSR, które zostanie zakończone w r. 1960.

W latach 1957—1959 dokonano pomiarów całego obszaru Czechosłowacji z rozstawem profilów 2 km, co odpowiada kartowaniu w skali 1 : 200 000. W r. 1957 wykonano pomiary czeskiej kredy i obszaru sudeckiego, co czyni ogółem około 20 000 km²; przyjęto kierunek profilów południowo-zachodni — północno-wschodni, aby były one prostopadłe w stosunku do przeważającego kierunku struktur geologicznych.

W r. 1958 wykonano pomiary pozostałej części Masywu Czeskiego i zachodniej części Karpat, przyjmując dla profilów kierunek północno-zachodni — południowo-wschodni (ogółem pomierzono 70 000 km²), w roku 1959 ukończono zaś pomiary pozostałych obszarów Słowacji, przy kierunku profilów północno-południowym, w miarę jak na to pozwalało zróżnicowanie morfologiczne tego kraju.

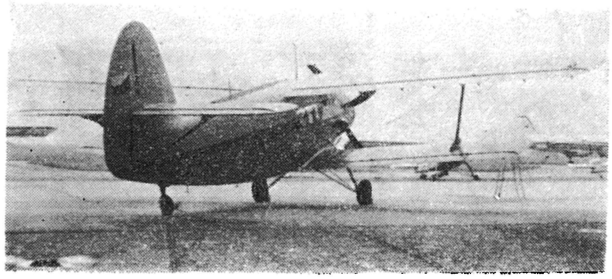
Oprócz pomiarów lotniczych o charakterze regionalnym, na niektórych obszarach perspektywicznych pod względem występowania złóż rud wykonano szczegółowe pomiary obejmujące ogółem powierzchnię 1000 km², przy rozstawie profilów 250 m, względnie 500 m.

Aby można było ocenić wyniki geofizycznych pomiarów lotniczych, należy zapoznać się chociażby pobieżnie ze stosowaną aparaturą i metodami dokonywania pomiarów.

2. APARATURA

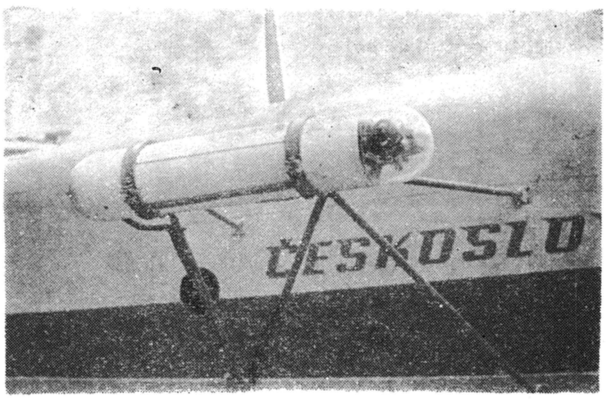
Przy dokonywaniu lotniczych pomiarów magnetycznych i radiometrycznych stosowano radziecką aparaturę ASGM-25, wmontowaną do

samolotu typu AN-2 (ryc. 1). Dla ścisłego określenia położenia mierzonych profilów posługiwano się lotniczą fotokamerą AFP 7/18.



Ryc. 1. Samolot AN-2 z wmontowaną aparaturą ASGM-25 (fot. St. Hrách)

Całość aparatury ASGM składa się z magnetometru, radiometru, radiowego wysokościomierza i urządzenia rejestrującego. Waga aparatury — 130 kg.

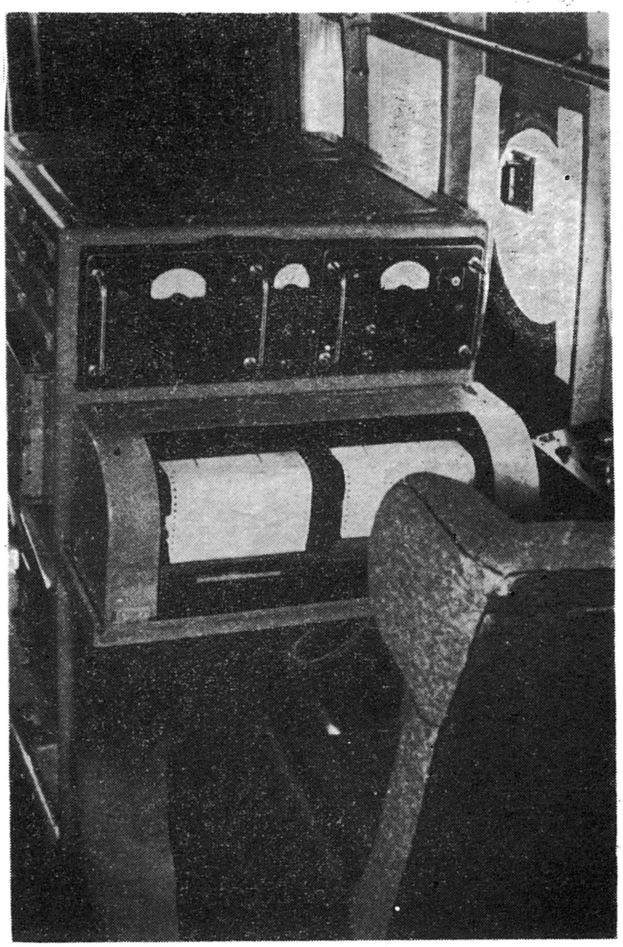


Ryc. 2. Gondola z pomiarowym urządzeniem aeromagnetometru ASGM-25 (fot. St. Hrách)

Magnetometr jest urządzony na zasadzie sondy permalojowej. Podczas dokonywania pomiarów aparatura rejestruje w sposób ciągły względną wartość całkowitej intensywności pola geomagnetycznego. Ten sposób stosuje się powszechnie we wszystkich nowoczesnych aeromagnetometrach, ponieważ umożliwia on osiąganie większej dokładności niż przy mierzeniu składowej pionowej, którą zwykle posługujemy się przy pomiarach powierzchniowych (2, 5). Czułość aparatury w przybliżeniu wynosi 200 γ na 1 cm szerokości zapisu. Przyrząd pomiarowy jest umieszczony w gondoli umocowanej z prawej strony kadłuba samolotu (ryc. 2), należy więc brać pod uwagę wpływ magnetycznego pola samolotu na wartość uzyskaną w toku pomiarów. Umożliwia to jednakże lot na mniejszej wysokości niż przy gondoli zawieszonej na kablu.

Radiometr jest wyposażony w 72 liczniki Geigera-Müllera, umieszczone w tylnej części kadłuba samolotu. Radiometr pozwala rejestrować zmiany intensywności promieniowania γ, wywołanego różną radioaktywnością skał, z dokładnością $\pm$ 0,8 mikrorentgenów na godzinę (μ r/h).

Aparatura jest również wyposażona w urządzenia rejestrujące, połączone z wysokościomierzem radiowym RV — 2, wskazującym wysokość lotu nad terenem w granicach od 0 do 240 m, z dokładnością około 5 m. Na większych wysokościach trzeba korzystać z wizualnego odczytywania wysokościomierza radiowego jeśli chcemy utrzymywać jednakową wysokość nad terenem, podczas lotu na stałej wysokości w stosunku do poziomu morza można również stosować barometryczne określanie wysokości.



Ryc. 3. Część rejestrująca aparatury ASGM-25 w kabinie samolotu (fot. St. Hrách)

Część rejestrująca całej aparatury jest umieszczona w szafce w kabinie samolotu (ryc. 3). Urządzenie posiada cztery wskazówkowe galwanometry, piszące na dwóch perforowanych taśmach papieru. Na lewej stronie pulpitu rejestrowane są poszczególne punkty orientacyjne i względne wartości intensywności magnetycznej. Na prawej stronie zapisuje się wysokość lotu nad terenem i intensywność promieniowania γ. Całe urządzenie może obsługiwać jeden operator.

Obiektyw pionowej lotniczej kamery fotograficznej AFP 7/18 ma ogniskową 70 m, format zdjęć 18 $\times$ 18 cm. Przesuwanie się taśmy jest automatyczne. Przy locie na wysokości 100 m ze zdjęcia lotniczego można określić położenie samolotu z dokładnością 5—10 m.

Samolot AN-2 jest jednosilnikowy, dwupłatowy, zasięg lotu 1000 km, nośność 1500 kg. Załogę stanowi pilot, nawigator i dwóch mechaników. Dla pomiarów geofizycznych dogodna jest stosunkowo mała minimalna szybkość oraz możliwość lotu na małych wysokościach.

3. SPOSÓB DOKONYWANIA POMIARÓW I OPRACOWYWANIE MATERIAŁÓW

Przy pomocy opisanej aparatury mierzymy teren wzdłuż profilów oddalonych od siebie o 250 m — 2 km, w zależności od skali kartowania (3). Wysokość lotu przy dokonywaniu pomiarów regionalnych wynosiła 100 m, przy dokonywaniu zaś pomiarów szczegółowych — 50 m. W terenie bardzo rozczłonkowanym nie zawsze można było utrzymywać się na przewidzianej wysokości, ze względu na bezpieczeństwo samolot musiał lecieć na większej wysokości.

Kierunek lotu na profilach określa nawigator według mapy, a dokładna pozycja samolotu jest kontrolowana przy pomocy zdjęć lotniczych wykonywanych w poszczególnych punktach orientacyjnych, oddalonych od siebie o około 10 km. Między tymi punktami przyjmowaliśmy, że samolot przelatuje wzdłuż linii prostej, przy stałej szybkości lotu.

Dla określenia chodu aeromagnetometru i wpływu czasowych zmian magnetycznych pomiary powtarzamy na niektórych przelatywanych odcinkach profilów w czasowym interwale 30—60 minut. Oprócz tego pomiary są każdego dnia na początku i po ich zakończeniu nawiązywane do kontrolnego profilu o długości 10—15 km. Dla profilu kontrolnego znana jest wartość intensywności magnetycznej na ziemi i w ten sposób można porównywać pomiary aeromagnetyczne z siecią powierzchniowych pomiarów magnetycznych.

Dla lepszego wyrównania sieci mierzonych profilów nawiązujemy wszystkie pomiary na każdym obszarze do kilku poprzecznych profilów, oddalonych od siebie 40—50 km, mierzonych dwukrotnie.

Przy opracowywaniu aeromagnetycznych i radiometrycznych zapisów należy najpierw ściśle usytuować na mapie poszczególne punkty orientacyjne przy pomocy zdjęć lotniczych, odpowiadającym odcinkom zapisu przypisujemy odpowiednią skalę.

W toku dalszego opracowywania — z zapisu magnetycznego należy wyeliminować wpływ chodu aparatury wraz z czasowymi zmianami magnetycznymi. Temu celowi służą pomiary profilów kontrolnych i pomiary powtarzane. Następnie musimy z danych uzyskanych w toku pomiarów wyłączyć wpływ pola magnetycznego samolotu, które przy określonym azymucie lotu jest stałe i znane. Z pomocą profilów kontrolnych nawiązujemy pomiary aeromagnetyczne do powierzchniowych pomiarów magnetycznych i uzyskujemy w ten sposób normalne pole magnetyczne. Z materiałów opracowanych w ten sposób otrzymujemy mapę profilów $\triangle T$.

Podczas pomiarów radiometrycznych wyraźnie można stwierdzić zmniejszanie się wraz z wysokością lotu intensywności promieniowania γ. Aby można było porównać wartości uzyskane na różnych wysokościach, należy je przeliczyć na powierzchnię ziemi. Do wyliczenia zależności promieniowania γ od wysokości stosujemy doświadczalnie sprawdzone charakterystyki zastąpione przez funkcję teoretyczną. Przeliczone w ten sposób wyniki pomiarów radiometrycznych przedstawiamy w postaci mapy profilów nasilenia promieniowania γ.

4. NIEKTÓRE WYNIKI REGIONALNYCH POMIARÓW LOTNICZYCH

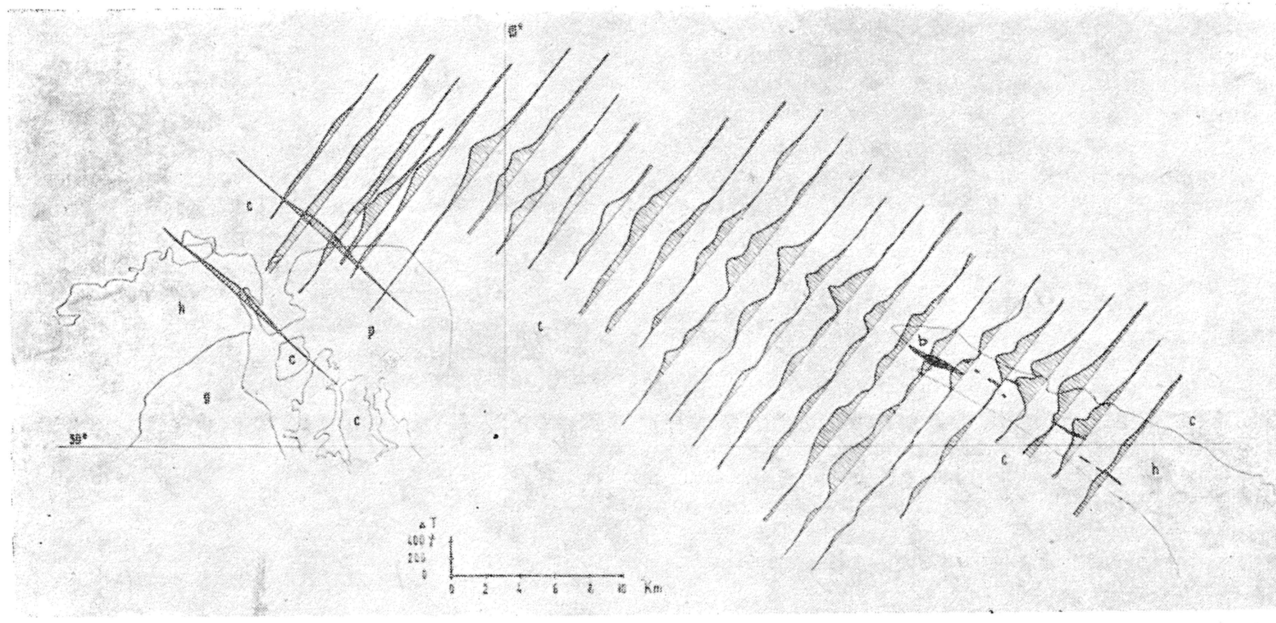
Na razie mamy do dyspozycji tylko wyniki lotniczych pomiarów geofizycznych w postaci mapy profilów $\triangle T$ oraz mapy profilów intensywności promieniowania γ.

Już wstępne opracowanie lotniczych pomiarów geofizycznych dostarczyło wiele nowych danych. Znaleziono szereg anomalii magnetycznych zarówno na obszarach niecek sedymentacyjnych, w stosunku do których uzyskuje się cenne informacje o ich podłożu, jak i na obszarze krystaliniku, gdzie te pomiary uzupełniają wyniki kartowania geologicznego i przyczyniają się do rozwiązywania problemów złożowych. Pomiary radiometryczne szczególnie pożyteczne okazały się jako podkład przy określaniu nowych perspektywicznych obszarów złóż. Znaczenie lotniczych geofizycznych pomiarów dla rozwiązywania problemów geologicznych najlepiej można zilustrować na konkretnych przykładach.

Aktualnie rozstrzygany jest problem podłoża czeskiej kredy. Niektóre wstępne wyniki badań geologicznych zostały już opublikowane (4). Aeromagnetyczne pomiary wykonane w tych obszarach przynoszą szereg nowych danych.

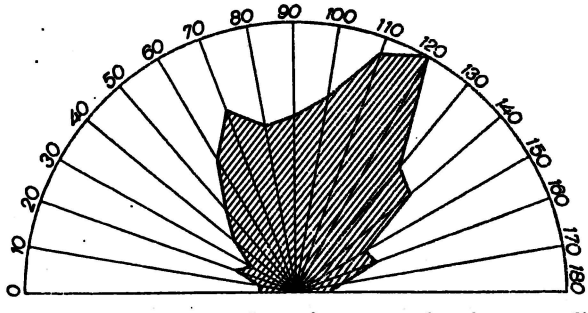
Przy południowym obrzeżeniu niecki kredowej, wypełnionej przeważnie psamitycznymi osadami, występują na powierzchni dwie jednostki różne pod względem geologicznym: skał algonckich i staropaleozoicznych — północne obrzeżenie Barrandienu i Żeleznych Hor. Przy pomocy aeromagnetycznych pomiarów stwierdzono tu strefę anomalii ciągnącą się na przestrzeni kilkudziesięciu kilometrów, co jest widoczne na mapie profilów $\triangle T$ (ryc. 4). Anomalie te możemy tłumaczyć zasadowymi skałami wylewnymi wieku paleozoicznego, znanymi tak na obszarze Barrandienu, jak i w Żeleznych Horach. Przebieg aeromagnetycznych anomalii wskazuje na wgłębne rozmieszczenie tych skał wylewnych, można więc obserwować przebieg algonckich i staropaleozoicznych skał pod osadami kredowymi, a także ich tektoniczne przesunięcia.

W środkowej części płyty kredowej aero-



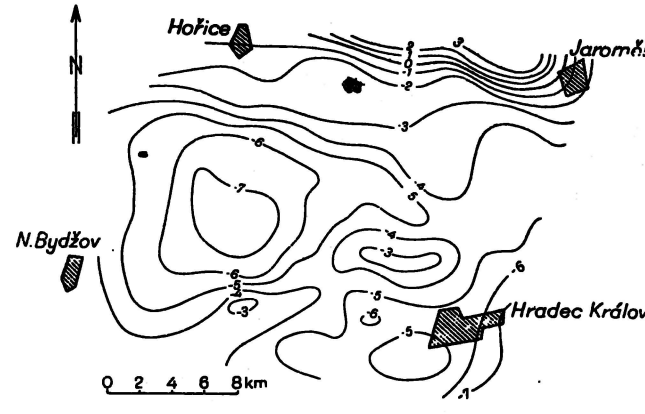
Ryc. 4. Część mapy profilów ΔT obrazująca południowe obrzeżenie kredy czeskiej, h — algonk i starszy paleozoik, p — perm, c — kreda, g — granity, b — zasadowe skały wylewne

magnetyczne pomiary stwierdziły szereg niskich, jednakże rozległych anomalii. Bardziej szczegółowo była dotychczas zbadana tylko magnetyczna anomalia Hradca Kralove. Na podstawie mapy profilów Δ T, którą uzupełniono kilkoma międzyprofilami, sporządzono mapę izoanomalii Δ T (ryc. 5). Przy sporządzeniu tej mapy trzeba było jednak brać pod uwagę przesunięcia anomalii w kierunku lotu, które wynoszą 135 do 215 m, zależnie od szybkości lotu. Na podstawie powtórzonych pomiarów określono również średni błąd pomiarów ± 25 γ. Tej dokładności miałby właśnie odpowiadać większy niż 25 γ rozstaw izoanomalii. W naszym przypadku zastosowaliśmy wspomniane rozstawy izoanomalii w celu ograniczenia anomalii, które możemy obserwować na kilku profilach, co wskazuje na ich zgodność ze stanem faktycznym. Charakter anomalii został wreszcie (i w szczegółach) skontrolowany przez magnetyczne pomiary powierzchniowe, wykonane na kilku profilach, w przybliżeniu o kierunku północno-południowym.



Ryc. 6. Wyniki kierunkowej statystyki izoanomalii na aeromagnetycznej anomalii Hradca Kralove

Interpretacja jakościowa tak powierzchniowych, jak i lotniczych pomiarów wskazuje na to, że przyczyną anomalii jest ciało rozciągające się w linii 2 km którego strop znajduje się na głębokości 700—800 m. Pobudliwość jest rzędu $1700 \cdot 10^{-6}$ cgs. Na podstawie anomalii aeromagnetycznej zostały również określone kierunki izoanomalii metodą statystyczną (ryc. 6). Wyraźnie zaznacza się kierunek godzina 4—5 (azymut 70°) i kierunek godzina 8 (azymut 120°). Na podstawie uzyskanych wyników możemy wnioskować, że przyczyną aeromagnetycznej anomalii jest masyw skał wylewnych, który zaznaczył się w miejscu skrzyżowania dwóch dyslokacji tektonicznych. Skały wylewne są prawdopodobnie wieku hercyńskiego lub przedhercyńskiego.

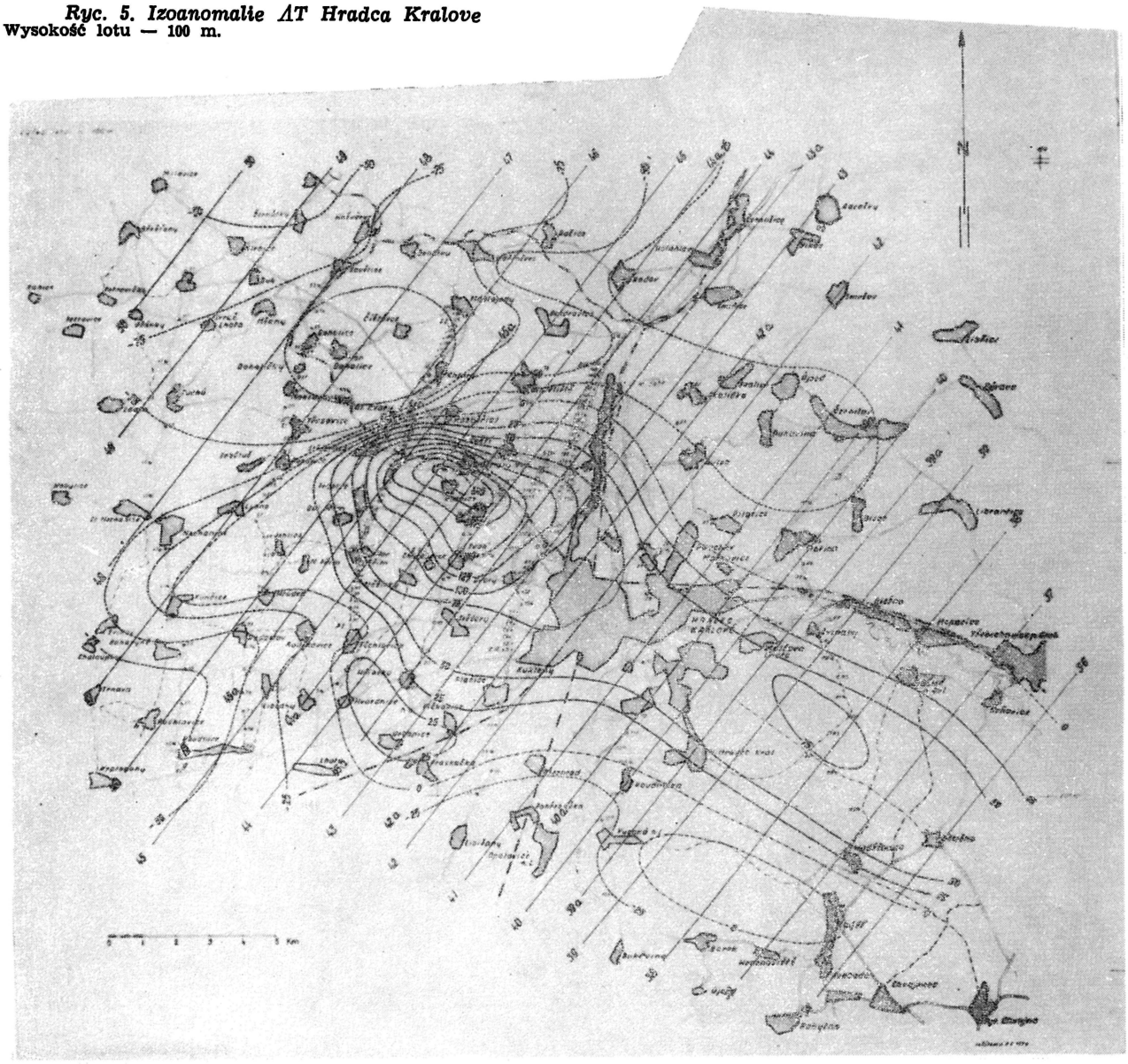


Ryc. 7. Mapa izoanomalii grawimetrycznych Hradca Kralove.

Przytoczone wnioski geologiczne znajdują potwierdzenie w regionalnych pomiarach grawimetrycznych, które wykazują tu zwiększenie natężenia siły ciężkości o 3 mgl w obszarze ujemnej siły ciężkości (ryc. 7).

Zgodnie z magnetycznymi i grawimetrycznymi anomaliami przejawiają się także inne znane masywy na obszarze czeskiej kredy.

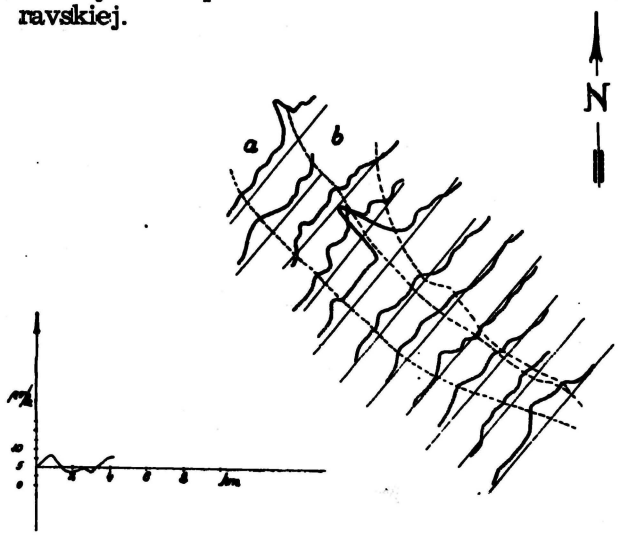
Ryc. 5. Izoanomalie ΔT Hradca Kralove
Wysokość lotu — 100 m.



Lotnicze radiometryczne pomiary pomagają również w rozwiązywaniu niektórych problemów geologicznych. Skały różnych geologicznych formacji wykazują różny stopień radioaktywności, zależnie od zawartych w nich minerałów radioaktywnych. Wyniki regionalnych radiometrycznych pomiarów obejmujące mniejsze obszary są przedstawione w formie map profilów intensywności promieniowania γ (ryc. 8). Stwierdzona strefa podwyższonej radioaktywności o 5 do 10μ r/h odpowiada przebiegowi wychodni karbońskich i permskich sedymentów. Anomalie intensywności promieniowania przekraczające 15—20 μ r/h możemy uważać za perspektywiczne z punktu widzenia poszukiwania złóż.

5. SZCZEGÓŁOWE POMIARY AEROMAGNETYCZNE

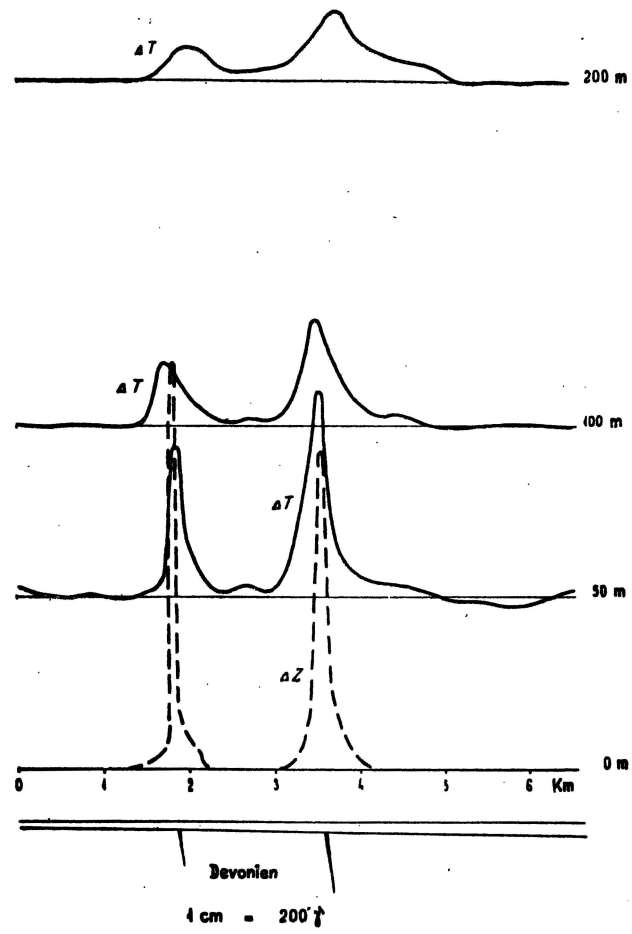
Możliwość zastosowania aeromagnetycznych pomiarów w pracach geologiczno-poszukiwawczych złóż rud badano już w r. 1957 podczas dokonywania pomiarów w Kotlinie Hornomoravskiej.



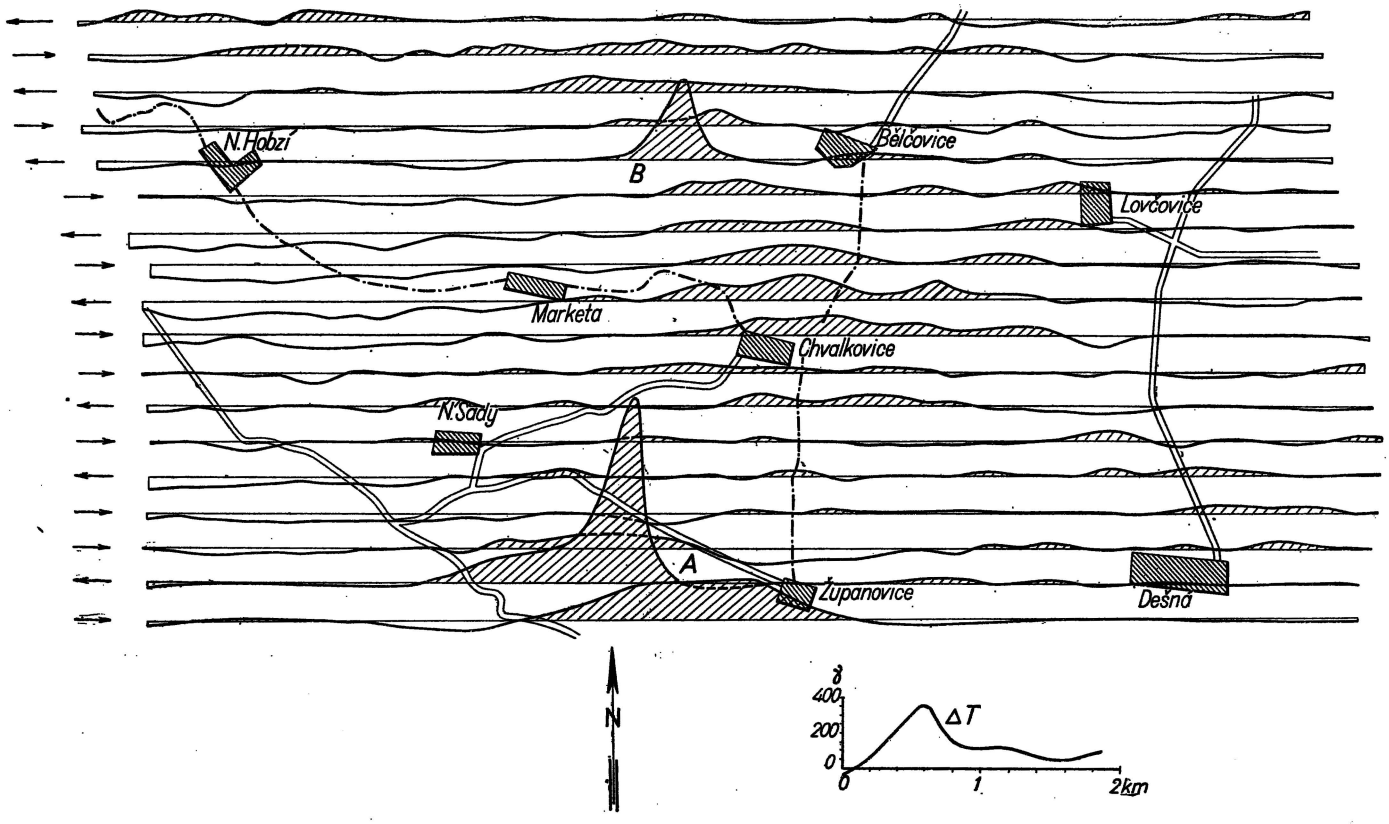
Ryc. 8. Wyniki lotniczych pomiarów radiometrycznych w formie profilów natężenia promieniowania γ
a — karbon, b — perm

Nad znanymi złożami dewońskimi typu Lahn-Dill w okolicach Kralové i Benkova z wysokości 50, 100 i 200 m pomierzono profil aeromagnetyczny (ryc. 9). Profil ma ogólny kierunek zachodnio-wschodni, dlatego też charakter aeromagnetyczny anomalii △ T i anomalii △ Z, mierzonych na ziemi, jest jednakowy (nie ujawnia się wpływ składowy poziomej natężenia). Wyniki pomiarów aeromagnetycznych dowodzą, że anomalie spowodowane przez złoża zaznaczają się wyraźnie również przy dokonywaniu pomiarów z wysokości 200 m nad terenem. Natężenie wąskich anomalii (anomalie znajdujące się w części zachodniej na ryc. 9) szybko spada w miarę zwiększania wysokości lotu. Dlatego też przy pomiarach szczegółowych, w celu ujęcia także mniejszych anomalii, stosujemy lot na wysokości 50 m.

W maju 1959 r. przeprowadzono aeromagnetyczne pomiary w okolicach Župonovic na powierzchni około 60 km², gdzie już wcześniej stwierdzono w paragnejsach moldanubiku złoża skarnowe. Pomiary aeromagnetyczne, wykonane z wysokości 50 m, przy kierunku profilów zachód-wschód i rozstawie profilów 250 m, opracowano w postaci mapy profilów △ T. Środkowa część tej mapy znajduje się na ryc. 10. W odległości około 3 km w kierunku



Ryc. 9. Aeromagnetyczne pomiary dokonane z różnych wysokości nad złożami rud żelaza w okolicy Kralové i Benková (wg M. Jelena)



Ryc. 10. Mapa profilów ΔT z okolic Županovic
A — złoża Županovic, B — nowe złoże w Bělčovicach

północnym od anomalii, nad znanym złożem pod Županovicami (A), stwierdzono dalszą znaczną anomalię (B). Skontrolowano ją następnie przy pomocy terenowych pomiarów magnetycznych, a później drogą prac technicznych, które wykazały, że wchodzi tu w grę nowe złoże skarnowe z okruszcowaniem rud metali nieżelaznych.

6. WNIOSKI

Lotnicze pomiary geofizyczne w Czechosłowacji przyniosły szereg ciekawych wyników, które pomogą rozwiązać szereg problemów geologicznych. Na obszarach anomalii, na których możemy się spodziewać złóż rud, prowadzi się obecnie systematyczne pomiary geofizyczne, z równoczesnym szczegółowym badaniem geologicznym tych terenów i wykonywaniem prac o charakterze technicznym i wiertniczym. Bardzo dobre wyniki przyniosło szczegółowe lotnicze kartowanie w skali 1 : 25 000, dlatego też postanowiono wykonać tego rodzaju pomiary dla wszystkich obszarów perspektywicznych.

Niezależnie od szybkości pomiarów lotniczych, które przynoszą rezultaty znacznie wcześniej niż powierzchniowe pomiary geofizyczne, główną zaletę tej nowej metody badań jest jej taniość. Regionalne geofizyczne pomiary kosztowały o połowę mniej w porównaniu z analogicznymi powierzchniowymi pomiarami magnetycznymi. Jeszcze pomyślniejszy wynik finansowy osiąga się przy pomiarach szczegółowych (1 : 25 000 i 1 : 50 000), przy których lotnicze pomiary kosztują zaledwie $^1/_4$ i $^1/_3$ w porównaniu z kosztami pomiarów powierzchniowych.

Jedynym brakiem pomiarów lotniczych jest ich niższa dokładność w porównaniu z pomiarami powierzchniowymi, co uda się jednak usunąć w przyszłych latach drogą zastosowania ulepszonej aparatury.

LITERATURA

1. Havlena V., Pouba Z. — Perspektivy geologického výzkumu podloží křídových uloženin v českém masivu. „Geologický pruzkum" 1959, 3, str. 66—69.
2. Jelen M., Mašin J. — Aeromagnetische Kartierung in Nordostböhmen. Geofyzikální sbornik. Cz. Akad. N. rocz. 1959.
3. Łogaczow A. A. — Kurs magnitorazwiedki. Gosgeoltechizdat, 1955. Moskwa.
4. Łogaczow A. A. — Mietodiczeskoje rukowodstwo po aeromagnitnoj sjomke. Gosgeoltechizdat, 1955.
5. Wyckoff R. D. — The Gulf Airborne Magnetometr. Geophysics XIII (1948), 2, 182—208.