

## ZASTOSOWANIE LOTNICZYCH I NAZIEMNYCH ZDJEŃ FOTOGRAMETRYCZNYCH W GEOLOGII

**S**ZYBKI POSTĘP TECHNIKI we wszystkich dziedzinach naszego życia wywiera swój wpływ na geologię i jej metody poznawcze. Stosowanie w pracach geologicznych wyłącznie młotka i kompasu należy już w gruncie rzeczy do historii. Nowoczesna kartografia geologiczna posługuje się metodami, które są bardziej ekonomiczne, a przede wszystkim bardziej obiektywne od ludzkiego oka. Należy do nich zastosowanie zdjęć fotogrametrycznych.

Zdjęcia fotogrametryczne są dziś nieodzownym środkiem we wszystkich dziedzinach geologii. Zdjęcia te pozwalają na wykonanie map geologicznych w sposób najbardziej obiektywny nie tylko w terenach odkrytych, ale również przykrytych utworami młodszymi. Wyższość zdjęć fotogrametrycznych w zastosowaniu do geologii polega przede wszystkim na tym, że fotogramy zawierają znacznie więcej szczegółów topograficznych niż nawet najlepsza mapa topograficzna.

Zdjęcia fotograficzne wykonane specjalną kamerą pomiarową nazywamy zdjęciami fotogrametrycznymi, a otrzymane obrazy fotogramami. Największe znaczenie w fotogeologii ma fotogrametria stereoskopowa oparta na zdolności przestrzennego widzenia. Aby dokonać obserwacji stereoskopowych, musimy posiadać dwa fotogramy tego samego obiektu geologicznego wykonane z dwu różnych stanowisk. Takie dwa zdjęcia nazywamy stereogramami.

Przy wykonywaniu zdjęć lotniczych częstotliwość wykonywanych zdjęć jest tak dobrana, aby każde następne zdjęcie obejmowało około 80% obszaru zdjęcia poprzedniego. W ten sposób każdy punkt terenu jest odwzorowany na dwu sąsiednich zdjęciach, co umożliwia otrzymanie efektu stereoskopowego.

Obdłki stykowe lub powiększenia zdjęć lotniczych mogą być uważane za plany lub mapy fotograficzne tylko wtedy, gdy zdejmowany teren jest zupełnie płaski i oś kamery była idealnie prostopadła do powierzchni terenu. Warunków tych nie da się jednak w praktyce spełnić, z tego powodu zdjęcia fotogrametryczne muszą być przetworzone. Przetwarzanie zdjęć odbywa się optycznie, a najczęściej fotomechanicznie przy zastosowaniu specjalnych przyrządów. Skażony obraz terenu otrzymujemy przede wszystkim na terenach górzystych, w których skala zdjęcia dla terenów wyżej położonych jest większa od partii dolnych. Poza różnicami w skali zdjęcia pionowe wykazuje deformacje radialne.

W fotogeologii największe zastosowanie znalazły zdjęcia normalne, wykonane przy osiach równoległych i prostopadłych do bazy.

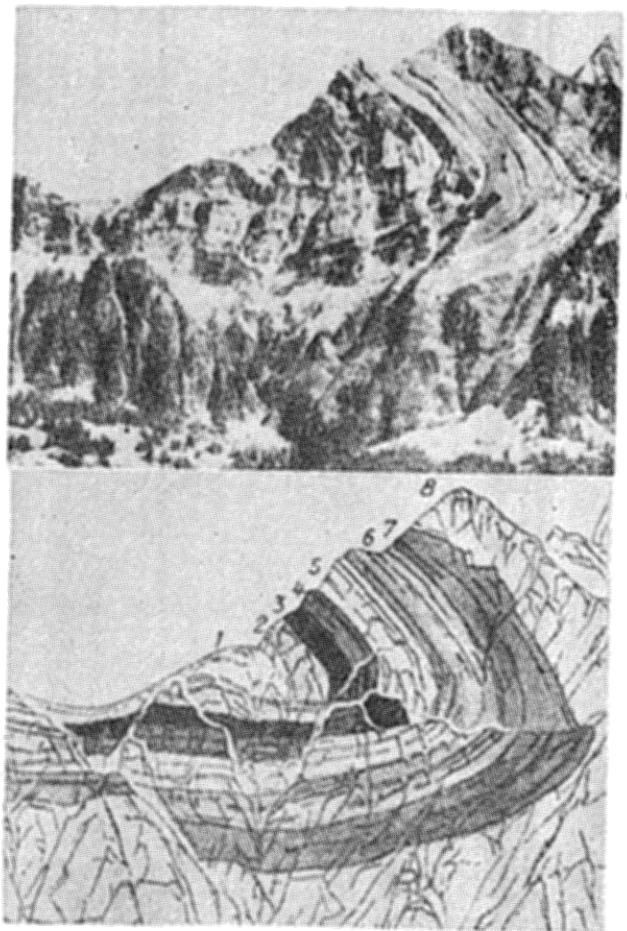
Zdjęcia wykonane podczas jednego przelotu nad terenem nazywamy szeregiem zdjęć. Aby pokryć zdjęciami większy obszar, trzeba dokonać kilku lub kilkunastu przelotów.

Na jakość zdjęć fotogrametrycznych wpływa bardzo wiele czynników, między innymi dobór właściwego materiału negatywowego i pozytywowego oraz jego obróbka. Dla celów geologicznych stereogramy powinny być jakościowo bez zarzutu. Ważne jest, aby wykazywały one normalną gradację, gdyż najmniejsze różnice w zaciemnieniu stanowią elementy rozpoznawcze dla geologii.

Omówienie wszystkich zagadnień z zakresu fotogrametrii mających podstawowe znaczenia dla właściwej interpretacji geologicznej fotogramów nie jest

możliwe w skromnych ramach tego artykułu. Naszkicowano zaledwie najbardziej ogólne pojęcia z tej dziedziny.

Zdjęcia naziemne stosuje się przede wszystkim w terenach górzystych dla analizy profilu pionowego stromych zboczy. Dla orientacji można wykonać zdjęcia stereoskopowe, zwykłym aparatem fotograficznym, przez zdjęcie tego samego obiektu z dwu różnych stanowisk. Przykład wykorzystania zdjęcia naziemnego i jego interpretacji geologicznej podaje ryc. 1a, 1b.



Ryc. 1a, 1b

Podczas analizy zdjęć fotogrametrycznych wydzielamy następujące czynniki:

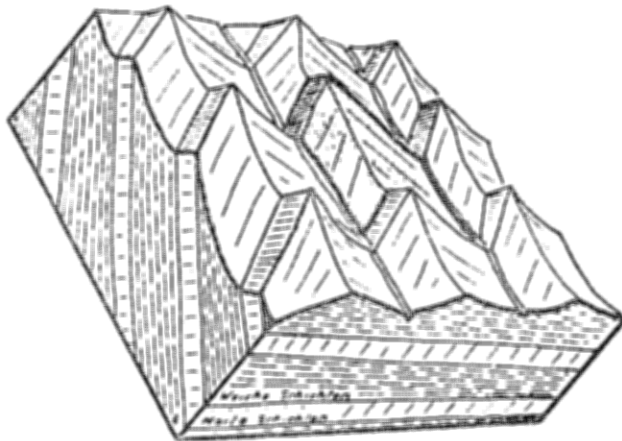
- 1) elementy geometryczne, jak: linie, granice i płaszczyzny badanych obiektów geologicznych;
- 2) elementy fotograficzne jak barwa obiektu powodująca odpowiednio zaciemnienie na zdjęciu, tak zwany fototon i stosunek fototonu badanego obiektu geologicznego do jego sąsiedztwa.
- 3) charakter rysunku badanego obiektu geologicznego. Czynniki wpływającymi na charakter rysunku są: morfologia, struktura, litologia.



Ryc. 2



Ryc. 3a



Ryc. 3b

Wszystkie te czynniki odzwierciedlają się na zdjęciach w charakterystyczny sposób, w wyniku selektywnej i kierunkowej działalności procesów denudacyjnych i akumulacji. Czynniki te można również odczytać na zdjęciach lotniczych z charakterystycznego układu sieci rzecznej i układu pokrywy roślinnej.

Należy nadmienić, że szczegółowych zasad identyfikowania geologicznych elementów rozpoznawczych na zdjęciach lotniczych nie można podać. Jest rzeczą

zrozumiałą, że jakość elementów rozpoznawczych zależy od klimatu, szaty roślinnej i wszystkich tych czynników, które składają się na pojęcie budowy geologicznej danego terenu. Wynika stąd, że elementy rozpoznawcze mają regionalny charakter. Identyfikacji elementów rozpoznawczych można dokonać łatwo po krótkim, wstępnym zapoznaniu się z terenem. Dlatego też każdy geolog kartujący musi sobie opracować elementy rozpoznawcze charakterystyczne dla opracowywanego przez siebie terenu. W ZSRR podczas kartowania na zdjęciach lotniczych wykonuje się szczególnie zestawienia elementów rozpoznawczych dla poszczególnych rejonów. Należy podkreślić, że na jakość elementów rozpoznawczych ma wpływ również wysokość lotu, cechy obiektywu, typ filtru, gatunek filmu i papieru i w mniejszym już stopniu skala zdjęcia. Natomiast bardzo ważnym czynnikiem wpływającym w niektórych przypadkach zdecydowanie na jakość elementów rozpoznawczych jest czas wykonania zdjęć (rok, miesiąc, dzień i godzina).

Z głównych elementów rozpoznawczych zdjęć lotniczych należy wymienić następujące:

1) element sąsiedztwa, który zezwala na wydzielenie pewnych płaszczyzn z otoczenia na podstawie kontrastu spowodowanego różnym zabarwieniem skał. Na ryc. 2 widzimy warstwowaną serię skał górnego paleozoikum o różnym zabarwieniu. Skala zdjęcia 1 : 30 000. Mniej więcej pośrodku zdjęcia po przekątnej biegnie bardzo wyraźnie uskoki. Zdjęcie to zezwala na bardzo dokładne studia strukturalne.

2) element morfologii określający związek geologii z elementami rzeźby. Na ryc. 3a widoczny jest krajobraz płytowy z charakterystyczną morfologią, a pod nim blokdiagram przedstawiający schemat budowy geologicznej (ryc. 3b).

3) element roślinny związany ze środowiskiem ekologicznym rzutującym na budowę geologiczną, występowania wód gruntowych lub elementy morfologiczne. Charakter pokrycia roślinnego wykorzystuje się z dużym powodzeniem w ZSRR przy kartowaniu tundry i tajgi. W naszych warunkach element ten ma ograniczone znaczenie z tego powodu, że na naszym obszarze obserwuje się daleko idącą ingerencją człowieka w środowisko naturalne. Jednak analiza szaty roślinnej daje duże usługi w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich.

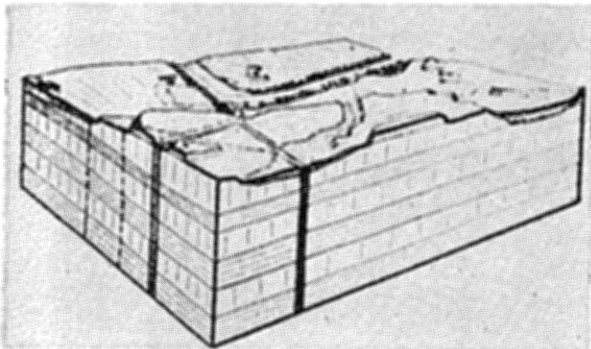
4) elementy związane z charakterem zmian w rzeźbieniu terenu, biegu rzek itd. rzutujące na tektonikę obszaru. Na ryc. 4a widzimy w morfologii bardzo wyraźnie utwory żyłne wypełniające szczeliny. Blokdiagram tego wycinka terenu przedstawia nam ryc. 4b. Na ryc. 5a widzimy bardzo wyraźny uskoki, wzdłuż którego obserwujemy obniżenie reliefu. Na ryc. 5b widzimy ten sam teren po przecięciu i przesunięciu obu części zdjęcia wzdłuż uskoku o długości przesunięcia uskoku. Na zdjęciu tym uderza nas zgodny przebieg rzeźby terenu po obu stronach uskoku.

Przy analizie zdjęć lotniczych możemy określić bieg i upad warstw stosując zasady intersekcji i posługując się stereomikrometrem. Na zdjęciu nr 6 widzimy przykład poziomo ułożonych warstw paleozoicznych (1 : 30 000).

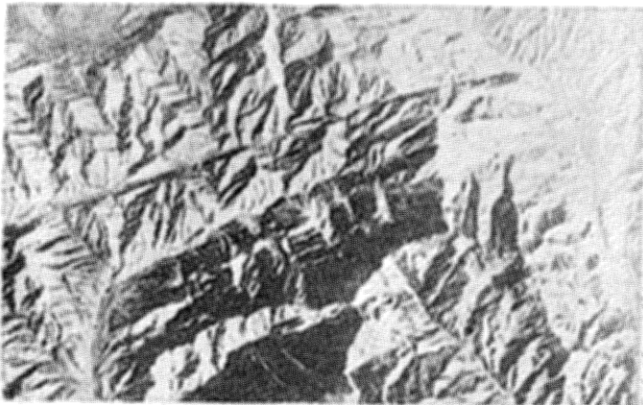
Przykład właściwej intersekcji pokazany jest na ryc. 7. Odcinek AB odpowiada biegowi warstwy a DC kierunkowi upada. Odcinek ED wyznacza nam w skali zdjęcia różnicę wysokości między punktami A i B a C. Wynika stąd, że kąt  $\alpha$  jest kątem upadu warstw. Różnicę wysokości między punktami A i B a C wyznaczamy pod stereoskopem na stereogramie używając stereomikrometru. Doświadczenie poucza nas, że określanie biegu i upadu na stereogramach jest bardziej dokładne niż pomiary terenowe dokonane klinometrem. Na stereogramach można mierzyć bardzo małe kąty upadu niemożliwe do uchwycenia podczas badań terenowych. Trzeba jedynie zastosować bardziej precyzyjne urządzenia, zwane autografami. W fotogeologii znajduje najczęściej zastosowanie autograf uproszczony Wilda A6.



Ryc. 4a



Ryc. 4b



Ryc. 5a



Ryc. 5b

Z wyżej przytoczonych przykładów wynikałoby, że zdjęcia lotnicze stosuje się tylko w obszarach, na których bezpośrednio, na powierzchni terenu wystę-

puje starsze podłoże skalne. Przepuszczenie takie byłoby błędne, gdyż zdjęcia lotnicze dają również nieocenione usługi podczas kartowania pokrywy młodszyc osadów. Oczywiście, najbardziej wszechstronne zastosowanie zdjęcia lotnicze znajdują tam, gdzie można na ich podstawie dokonać analizy głębszego podłoża, a więc tam, gdzie na powierzchni terenu występują przynajmniej częściowo odsłonięte skały starsze. W tych warunkach analiza zdjęć lotniczych daje więcej niż długoletnie prace terenowe.

Na wysoczyznach plejstoceniowych możemy wydzielić na podstawie analizy morfologicznej fototonu oraz szaty roślinnej obszary występowania glin zwałowych, piasków fluwioglacjalnych, moren czołowych, ozów itd. Bardzo łatwo dają się wydzielić na zdjęciach lotniczych na podstawie fototonu podmokłości, torfowiska i wydmy. Również łatwo można wydzielić w dolinach rzecznych krawędzie tarasowe, starorzecza, stożki napływowe itd.

Duże korzyści wypływające z zastosowania zdjęć lotniczych sprawiły, że w geologii inżynierskiej znajdują one szerokie zastosowanie. Okres między poszczególnymi etapami projektowania obiektów budowlanych jest zawsze określony, ograniczony i najczęściej krótki.

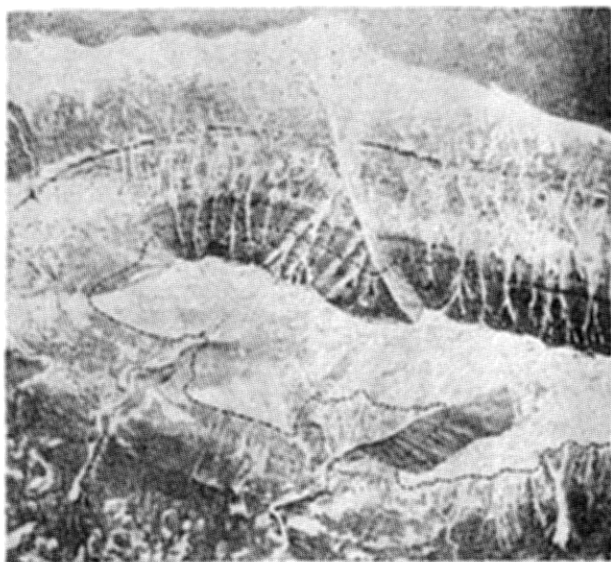
Opracowanie geologicznych materiałów kartograficznych dla większych terenów jest w tym krótkim czasie wysoce utrudnione. Zastosowanie zdjęć lotniczych w pracach geologiczno-inżynierskich zezwala na znaczne skrócenie prac terenowych, przy jednoczesnym zwiększeniu dokładności. Zezwala też, co jest okolicznością bardzo ważną, na jednoczesne rozpoczęcie prac geologicznych z pracami kartograficznymi. Jednoczesne opracowanie topografii i geologii w autografie ma jeszcze dodatkowo tę wyższość, że mapa taka jest o wiele dokładniejsza niż wykonana oddzielnie. Nieocenioną zaletą zdjęć lotniczych jest możliwość prawie dowolnego zwiększania skali map geologicznych bez konieczności dokonania dodatkowych prac terenowych.

Dla przykładu podam sposób rozwiązywania badań dla szwajcarskiej siłowni wodnej Linth-Limmern w Alpach. Na obszarze zapory i cofki występują liczne strefy uskoków, spękań i nasunięć. W celu wyodrębnienia tych stref zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym zastosowano zdjęcia lotnicze i naziemne. Zezwoliło to na bieżące dostosowanie skali zdjęcia geologiczno-inżynierskiego do potrzeb budownictwa. Konieczność wykonania map geologiczno-inżynierskich w skali 1:1 000 wynika już po ukończeniu prac polowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że fotogrametryczne zdjęcia naziemne wykonano za ledwie w kilka tygodni, a wszystkie mapy i plany tak topograficzne, jak i geologiczno-inżynierskie opracowano na podstawie tego samego materiału fotograficznego. Na ryc. 8 widzimy bardzo wyraźny system spękań. Patrząc na to zdjęcie stwierdzamy, że skartowanie tych spękań wymagałoby wielu tygodni żmudnych prac terenowych, przy czym dokładność byłaby znacznie mniejsza.

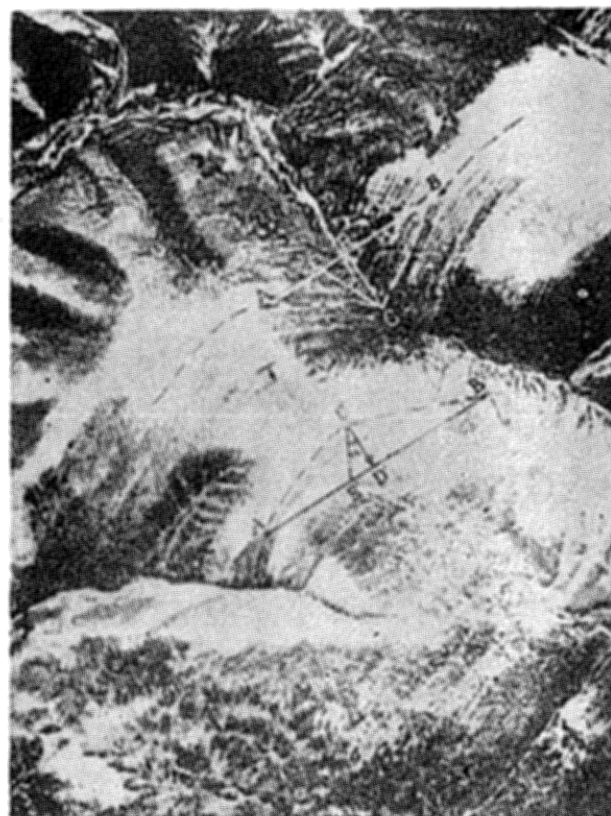
Poważne znaczenie mają zdjęcia zarówno lotnicze, jak i naziemne w badaniach zsuwów. Przy większych ruchach obserwować możemy kolejne fazy ewolucji tych ruchów, a dokładność obserwacji znacznie wzrasta. Uwagi te dotyczą również obserwacji postępu erozji rzecznej, obrywów brzegu lub zmian na sztucznych zbiornikach wodnych.

Na zdjęciach lotniczych możemy wydzielić starorzecza z taką precyzją, jaka jest praktycznie nieosiągalna przy badaniach terenowych. Wyznaczyć możemy krawędzie tarasów, ich wysokości, obszary zalewowe przy projektowanych spiętrzeniach co ma bardzo duże znaczenie w geologii inżynierskiej.

Analiza zdjęć lotniczych pozwala na wydzielenie czynnych i nieczynnych odcinków drenazowych. Na odcinkach tych występują różne warunki wodne w glebie rzutujące na rozwój szaty roślinnej, a ta z kolei powoduje różny odcień barwy na zdjęciu lotniczym wykonanym w odpowiednim czasie. Za pomocą zdjęć lotniczych możliwe jest odtworzenie systemu



Ryc. 6



Ryc. 7

drenażowego w przypadku braku planów zagubionych podczas działań wojennych.

Dla przykładu również, chciałbym podać sposób rozwiązania opracowania kompleksowego dla celów gospodarczych wykonanego w USA dla „Tennessee Valley Projekt”. Mapą, której celem było opracowanie projektu gospodarczego rozwoju tej doliny, pokryto obszar około 100 000 km<sup>2</sup>, a więc prawie 1/3 obszaru Polski. Badania terenowe wykonano na zdjęciach lotniczych w skali 1:25 000 zestawionych później w mapy w skali 1:125 000. Na kartowanym terenie wydzielono jednostki o powierzchni minimum 0,8 km<sup>2</sup>. Poszczególne jednostki scharakteryzowane

symbolami ułamkowymi, np.:  $\frac{\text{lax5}}{\text{---}}$ , gdzie w liczniku

232



Ryc. 8

niku 1 oznacza, że obszar jest uprawiany, a — że na obszarze tym uprawiana jest kukurydza, x — brak uprawy roślin dwuletnich i 5 oznacza, że farmer nie walczy z erozją gleby. W mianowniku cyfry oznaczają: 2 — pochyczenie zboczyc 10°—20°,

3 — warunki odpływu są dobre,

2 — erozja gleby jest współcześnie czynna.

Również przy poszukiwaniu surowców zdjęcia lotnicze oddają duże usługi. W ZSRR poszukiwano z powodzeniem złóż węgla, ropy, soli, fosforytów, boksytów, a także licznych złóż rud. Pierwsze doświadczenia geologów zachodnich wykazały, że dokładność i efektywność poszukiwań na zdjęciach lotniczych jest bez porównania większa, a w niektórych przypadkach określenie perspektyw surowcowych było możliwe tylko dzięki zastosowaniu zdjęć lotniczych. Dotyczy to szczególnie poszukiwań na terenach trudno lub zupełnie niedostępnych w krajach kolonialnych.

Zasady interpretacji zdjęć lotniczych przy pracach poszukiwawczych nie odbiegają od zasad ogólnych, podanych już uprzednio, z tym że interpretacja jest kierunkowa i polega na analizie kryteriów przede wszystkim strukturalnych, stratygraficznych i litologicznych.

Zdjęcia lotnicze znalazły zastosowanie szczególnie przy poszukiwaniu złóż związanych z utworami żyłnymi.

W Czechosłowacji zdjęcia lotnicze stosowano również przy poszukiwaniu złóż solnych.

Na podstawie analizy morfologii i fototonu na zdjęciach lotniczych, prowadzić można poszukiwania surowców na wtórnym złożu oraz złóż surowców budowlanych.

Dla celów surowcowych najczęściej stosowana jest skala 1:10 000.

Po dokonaniu szczegółowej analizy zdjęć lotniczych i uzupełnieniu pracami terenowymi powstaje mapa, na której okonturowane są obszary o perspektywach złóżowych.

Mapa jest podstawą do zaplanowania prac geofizycznych i robót ziemnych.

W celu uzupełnienia obserwacji naziemnych stosuje się ostatnio coraz częściej bezpośrednio obserwacje z samolotu. Badaniami tymi posługuje się geolog najczęściej w pracach geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i surowcowych.

Bezpośrednie obserwacje z samolotu stosuje się w dwu etapach: jako wstępne rekonesansowe na obszarze projektowanych badań geologicznych i jako uzupełnienie oraz kontrola wykonanych prac.

Naloty takie zezwalają na zdobycie w okresie bardzo krótkiego czasu ogólnych danych o budowie geologicznej, stopniu odkrycia podłoża, a w sprzyjających warunkach o strukturze terenu. Obserwacje te służą kierownikowi grupy geologicznej do najbardziej racjonalnego zaplanowania prac geologicznych. Naloty zezwalają również na dokonanie obserwacji

dużej ilości obiektów geologicznych z różnych wysokości i przy różnym naświetleniu. W ten sposób geolog uzyskuje dodatkowe dane, konieczne do sprawdzenia i wyjaśnienia budowy geologicznej obszarów, dla których przy badaniach terenowych i analizie zdjęć lotniczych istniały pewne wątpliwości.

Do ujemnych stron nalołów należy zaliczyć zbyt dużą szybkość samolotu i zależność obserwacji od stopnia obiektywizmu badacza. Nadmierną szybkość można wyeliminować przez zastosowanie helikoptera.

Ze względu na duże koszty naloły bezpośrednie stosuje się wyjątkowo, gdy zależy na czasie lub teren jest trudno dostępny dla obserwacji z ziemi. W ostatnim wypadku naloły są najbardziej efektywne.

Obserwacje dokonywane z samolotu zostają utrwalone na taśmie magnetofonowej. Ten system zapisu zezwala na dokonywanie ciągłych obserwacji przez geologa, a co jest najważniejsze znakomicie ułatwia orientację w terenie.

Bezpośrednich obserwacji terenu z samolotu dokonuje się zwykle z wysokości 300—600 m. Wyjątkowo podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego lub surowcowego wysokość lotu wynosi 50—100 m, natomiast przy obserwacji większych struktur geologicznych wysokość lotu wynosi 1500—2500 m.

Jeden naloł ze względu na wydajność związana z przemęczeniem załogi nie powinien trwać dłużej niż 4 godziny.

W fotogeologii dla uzyskania specjalnych efektów stosuje się fotografowanie w podczerwieni. Zdjęcia wykonane w podczerwieni są bardziej wyraźne, gdyż promienie podczerwone łatwiej przenikają przez atmosferę. Należy tu podkreślić, że promienie podczerwone nie przenikają przez mgłę o dużym stopniu kondensacji, jak i przez chmury. Zdjęcia wykonane w podczerwieni wykazują znacznie większą wrażliwość na barwy niż normalne, wykonane na materiale orto- lub panchromatycznym. W geologii fotografia w podczerwieni ma duże zastosowanie w poszukiwaniach surowcowych, szczególnie nafty. Niektóre pierwiastki, występujące w podłożu w poszukiwanych złożach, koncentrują się w glebie i wpływają na różną zawartość chlorofilu w szacie roślinnej.

W ostatnich latach stosuje się w coraz szerszym zakresie fotografię kolorową. Eksperymentalne zdjęcia kolorowe wykonane w Kanadzie i na Malajach wykazały znacznie większą przydatność do niektórych celów niż zwykłe białoczarne. Zdjęcia kolorowe zostały z dużym powodzeniem zastosowane przy poszukiwaniach rud. Zdjęcia te zezwalają na prześledzenie aureoli hydrotermalnych zmian i zezwalają wyjaśnić genezę rud. Przeprowadzone w Dolinie Śmierci doświadczenia pokazały, że niektóre dane strukturalne i stratygraficzne można uchwycić wyłącznie na kolorowych zdjęciach. Do specjalnych celów stosuje się ostatnio negatywy uczulone na określone zakresy widma świetlnego, które poprzez wypaczenie naturalnego obrazu podkreślają żądane elementy krajobrazu.

Schemat toku pracy oparty na zdjęciach lotniczych, jest zbliżony w ogólnych zarysach do toku pracy przy użyciu zwykłego podkładu topograficznego. zasadnicza różnica polega na tym, że wykorzystując zdjęcia lotnicze jesteśmy w stanie już we wstępnej fazie kameralnej wykonać opracowanie zezwalające ograniczyć prace terenowe w sprzyjających warunkach nawet o 80%. Z tego względu prace wstępne powinny być bardzo dokładne, wnikliwe i wszechstronne. Z powyższego wynika, że na wstępne opracowanie kameralne należy zaplanować odpowiednio więcej czasu niż przy kartowaniu na podkładzie topograficznym, przy którym główny ciężar prac przypada na obserwacje w terenie.

Po zapoznaniu się z literaturą i istniejącymi materiałami kartograficznymi geolog przystępuje do opracowania geologicznych elementów rozpoznawczych na zdjęciach lotniczych. W naszych warunkach, gdzie istnieją mapy geologiczne dla całego terenu Polski co najmniej w skali przeglądowej możliwe jest zidentyfikowanie większości elementów rozpoznawczych już w fazie wstępnej. Opracowanie i zidentyfikowanie



Ryc. 9



Ryc. 10

elementów rozpoznawczych prowadzi do wykonania wstępnej interpretacji wszystkich materiałów geologicznych w formie mapy roboczej. Mapa ta wraz ze zdjęciem geologicznym zezwala na szczegółowe wytyczenie marszrut, lokalizację pierwszej serii sond i szybików oraz określenie zagadnień, które we wstępnych pracach nie zostały wyjaśnione.



Ryc. 11

Korzystając ze zdjęć lotniczych geolog kartuje w terenie według z góry ustalonego planu. Kartowanie w terenie sprowadza się w dużej mierze do wyjaśnienia i potwierdzenia zagadnień postawionych we wstępnej fazie prac kameralnych. Dokładność prac zdjęciowych na zdjęciach lotniczych jest bardzo wysoka — zezwala na lokalizowanie faktów geologicznych na zdjęciu z dokładnością do kilku m bez potrzeby dokonania domiarów.



Ryc. 12

Końcowe prace kameralne są również w dużej mierze uproszczone, gdyż dokładność kartowania na zdjęciach lotniczych eliminuje wiele pomyłek, błędów i niezgodności.

Efektywność stosowania zdjęć lotniczych w naszych warunkach jest różna dla poszczególnych rejonów geologicznych. Skąły starszego podłoża bez pokrywy utworów zwietrzelinowych lub osadów młodszych występują na bardzo małych obszarach i prawie wyłącznie w Tatrach i Sudetach. Należy jednak stwierdzić, że obszary te nie należą do „fotogenicznych”, tak że interpretacja formalna zdjęć lotniczych jest tu ograniczona. Poszczególne serie skał wykazują tu podobne zabarwienie, najczęściej nie zaznaczające się na zdjęciach lotniczych. Z tych względów nie należy oczekiwać szerokiej możliwości stosowania zdjęć lotniczych przy szczegółowych studiach stratygraficznych dla map w małych podziałkach opartych o formalną analizę zdjęć. Inne jednak walory zdjęć lotniczych, omówione uprzednio, wpływają na to, że zastosowanie zdjęć lotniczych dla tych obszarów jest celowe.

Interpretację formalną zdjęć lotniczych można w naszych warunkach stosować w znacznie większej mierze na obszarach, gdzie na powierzchni występują utwory młodsze lub współczesne. Jak już wspomniano nieporównanie lepsze wyniki daje interpretacja formalna poparta pracami terenowymi.

Dla przykładu podaję niżej kilka zdjęć z obszaru Jury Krakowsko-częstochowskiej\*.

Na ryc. 9 nieregularne, poszarpane jak gdyby jasne plamy, to wychodnie wapieni skalistych. Tam, gdzie bezpośrednio na powierzchni ukazują się wapienie, na zdjęciu obserwujemy w stosunku do otoczenia jaśniejsze plamy. Są to tak charakterystyczne dla krajobrazu jurajskiego ostańce wapienne. Dookoła nich na powierzchni skały znajdujemy bardzo cienką, od kilku do kilkunastu zaledwie cm pokrywę glebową z darnią. Ona to powoduje, że wokół samych ostańców obserwujemy ciemne obwódki. Tak więc wapienie skaliste zdradzają nam jednocześnie trzy elementy rozpoznawcze: element morfologiczny, fototon i szata roślinna. W dalszym sąsiedztwie wychodni wapieni skalistych obserwujemy zaciemnienia. Zaciemnienia te spowodowane są występowaniem wapieni na głębokości 2—5 m pod powierzchnią terenu. W miejscach tych piaski pokrywowe posiadają mniejszą miąższość, glina zwietrzelinowa występuje płytko. Płytkie występowanie gliny zwietrzelinowej sprawia, że gleba w tych miejscach jest bardziej gliniasta, bardziej tłusta, co powoduje odmienne zabarwienie jej i rosnącej na niej roślinności. Na obszarach tych wykonano szereg szybków i sond sprawdzających. Należy jednak pamiętać, że na obszarze tym występują bardzo silnie rozwinięte organy krasowe, a zmienność występowania stropu wapienia jest bardzo duża.

Jasna wydłużona plama, częściowo porośnięta jałowcem, który można rozpoznać pod stereoskopem, jest wydumą. Tło tego zdjęcia stanowią pokrywowe piaski pochodzące z przemycia glin zwietrzelinowych i zwałowych.

Na ryc. 10 widzimy ciąg jasnych plam pokrytych częściowo skąpą roślinnością, jałowcami i lasem. Charakterystyczny rysunek tego obiektu wskazuje nam od razu na ciąg płasków wydumowych. I w tym przypadku wydmy zdradzają nam trzy elementy: morfologiczny, fototon i szata roślinna. W stosunku jednak do wyżej omówionych wychodni wapieni rysunki obu obiektów geologicznych bardzo się różnią między sobą.

Na ryc. 11 przedstawiona jest interpretacja geologiczna tego obszaru w oparciu o prace terenowe, sondy i szybiki.

Na następnym zdjęciu (ryc. 12) widzimy przykład doliny. Na zdjęciu tym obserwujemy stosunkowo duży kontrast i ostre granice między plejstocenijskimi płaskami pokrywowymi a osadami rzeczno-jeziornymi. Na pierwszy rzut oka uderza nas duża ilość starych opuszczonych meandrów i zakoli. Na zdjęciu tym wydzielić możemy poszczególne stadia ewolucji rzeki.

\* W instytucie wykorzystuje się w ostatnich latach zdjęcia lotnicze w niektórych pracach poszukiwawczych, przy zdjęciu podstawowym, geologiczno-ingenierskim i hydrogeologicznym. Ogółem wykorzystano 18 000 zdjęć lotniczych dla różnych obszarów.



Ryc. 13



Ryc. 14

Należy nadmienić, że większość tych elementów przy kartowaniu terenowym uchodzi uwadze, gdyż najczęściej nie zaznacza się w morfologii. Ciemniejsze plamy w dolinie odpowiadają podmokłościom.

W prawym, dolnym narożu zdjęcia widzimy jasne, jak gdyby rozmazane plamy. Bez uzupełnienia terenowego trudno byłoby je zidentyfikować. Rozjaśnienia te spowodowane są przez nawiane piaski, których miąższość jest bardzo mała, często kilkanaście zaledwie centymetrów.

Przy prawej krawędzi zdjęcia dolina się rozwidla. W dolnej części widocznego w rozwidleniu języczka obserwujemy drobne wychodnie wapieni skalistych, a w górnej partii gospodarskie kamieniołomy. Geologiczna interpretacja tego zdjęcia przedstawiona została na następnym zdjęciu (ryc. 13).

Na zdjęciu (ryc. 14) widzimy źródłowe partie małej rzeczki z jej licznymi meandrami. W górnej części zdjęcia została ona skanalizowana. Najmłodsze zakola są bardzo wyraźnie widoczne, podkreślone jeszcze



Ryc. 15

rosnącymi na ich brzegach krzewami. Również stare zakola, mimo wieloletniego zaorywania są na zdjęciu jeszcze widoczne. Jak wynika z tych zdjęć kartowanie opuszczonych łożysk rzek, co posiada duże znaczenie dla zdjęcia geologiczno-inżynierskiego, jest przy zastosowaniu zdjęć lotniczych bardzo ułatwione.

Najmniej materiału analitycznego dostarczają zdjęcia lotnicze obszarów leśnych. W niektórych jednak przypadkach i one dostarczyć mogą informacji o kształcie, rozmieszczeniu i przebiegu niektórych elementów geologicznych.

Na zdjęciu (ryc. 15) pokazano przykład obszaru lessowego. Widoczne tu są bardzo wyraźnie jary lessowe podkreślone występującą na ich zboczach roślinnością. Pod stereoskopem zaznacza się bardzo wyraźnie wysoka krawędź lessowa przebiegająca po środku zdjęcia. Nieco wyżej obserwujemy dolinkę okresowego potoka. Zbocza dolinki są na pewnych odcinkach silnie podcięte. W lewym, górnym narożu obserwujemy jasne plamy odpowiadające przewianym piaskom. Zdjęcie to poucza nas jednocześnie, że na terenie tym nie różnią się na podstawie fototonu piaski leżące na glinach (prawe górne naroże) od lessów piaszczystych.

Polska fotogeologia czyni w tej chwili pierwsze kroki. Jest jeszcze przedwcześnie na dokonanie szczegółowej analizy strony ekonomicznej zastosowania zdjęć lotniczych w naszych warunkach. Koszt pokrycia stereogramami obszaru jednej mapy w skali 1:50 000 równa się kosztom związanym z pracą geologa w terenie w okresie około 2 miesięcy. Już dziś jednak można stwierdzić, że zastosowanie zdjęć lotniczych na wielu obszarach jest ekonomicznie uzasadnione. Z całą pewnością można stwierdzić, iż zastosowanie zdjęć lotniczych przyniesie duże oszczędności przy kartowaniu kompleksowym, podczas którego powstanie jednocześnie szereg map: stratygraficzna, geologiczno-inżynierska, hydrogeologiczna i surowcowa.

Zdjęcia lotnicze redukują w dużym stopniu pracę terenową geologa wykonywaną często w bardzo trudnych warunkach; jednak powiedzenie rosyjskie, że geolog zarabia nogami, pozostaje aktualne. O efekcie końcowym zastosowania każdej metody decyduje w ostatecznym rachunku umiejętność posługiwania się daną metodą.

--- o ---

Ryciny zamieszczone w tekście pochodzą z następujących źródeł:

Ryc. 1a i 1b wg Helblinga — „Die Anwendung der Photogrammetrie bei geologischen Kartierungen“.

Ryc. 2, 5a, 5b, 6, 7, 8 wg Pietrusiewicza (14).

Ryc. 3a, 3b, 4a, 4b, wg Hagena (9).

Ryc. 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 dostarczył autor.

#### LITERATURA

1. Bülow K. — Wie die Landschaft entstand. „Luftbild und Luftbildmessung“. Berlin 1941.
2. Crawford O.G.S. — Luftbildaufnahmen von archaologischen Bodendenkmälern in England. „Luftbild und Vorgeschichte“. Berlin 1938.
3. Drobyszjew F.W. — Osnovy aerofotosjomki i fotogrammetrii. Moskwa 1955.
4. Ewald E. — Einsatz des Luftbildes für die vorgeschichtliche Forschung in Deutschland. „Luftbild und Vorgeschichte“. Berlin 1938.
5. Finsterwalder R. — Photogrammetrie. Bern 1952.
6. Goldman L.M. — Cwietnaja aerasjomka za rubieżom. „Gieodiezija i Kartografija“ 1957, nr 5.

7. Gruber O. — Luftbild und Orologie. Luftbild und Gebirgskunde. Berlin 1941.
8. Hagen T. — Wissenschaftliche Luftbild — Interpretation. „Geographica Helvetica“ nr 4, Zürich 1950.
9. Hagen T. — Moderne Kartierungsmethoden Photogeologie. „Neue Züricher Zeitung“ nr 1038/29/18 V 1950.
10. Hammerle E. — Luftbild und Gebirgskunde. Luftbild und Gebirgskunde. Berlin 1941.
11. Heilmayer J. — Luftbildmessung im Hochgebirge. Luftbild und Gebirgskunde. Berlin 1941.
12. Pietrusiewicz — Geologo-sjomocznyje i polskowyje raboty na osnovie aerometodow. Moskwa 1954.
13. Weatherhead T. — Air survey and geology. Int. Geol. Congr., cz. 6 London 1950.
14. Vašiček M. — Využití letecké fotografie v solné prespekci. Věstník Ú.Ú.G., ročník XXIX Praha 1954.
15. Zeller M. — Podręcznik fotogrametrii. Warszawa 1950.