

Kazimierz GUZIK

Wykorzystanie zdjęć lotniczych i naziemnych przy kartowaniu i opracowaniu Mapy Geologicznej Tatr Polskich w skali 1:10 000

UWAGI WSTĘPNE

Dla geologa-kartografa przydatność stosowania metod fotogrametrycznych oraz geologicznej fotointerpretacji zdjęć lotniczych i naziemnych w kartograficznych pracach geologicznych jest oczywista, jeśli chodzi o tereny słabo zbadane pod względem geologicznym oraz trudno dostępne dla ekspedycji geologicznych. Natomiast bardzo często stawia się pod znakiem zapytania celowość stosowania fotogrametrii i fotogeologii przy kartowaniu terenów tradycyjnie już rozpoznanych, dla których poczynając od końca ubiegłego stulecia wykonano zdjęcia geologiczne w skalach od 1:75 000 do 1:25 000 lub nawet tylko 1:100 000. Doświadczeni i poważni geolodzy-kartografowie popełniają zasadniczy błąd, nie doceniając szczególnie fotogeologii (interpretacja geologiczna zdjęć fotogrametrycznych)¹, jako jednej z metod interpretowania budowy geologicznej terenu. Wpływa to nie tylko opóźniająco na przebieg polowych i kameralnych opracowań kartograficzno-geologicznych, lecz wprost prowadzi do zubożenia geologicznej treści opracowań syntetycznych.

W Europie wyjątkowy stosunek do tego zagadnienia obserwujemy w Związku Radzieckim, gdzie właśnie fotogeologia jest, zgodnie z instrukcją, jedną z metod stosowanych w kartografii geologicznej, a jej nauczanie jednym z głównych przedmiotów nauczania kartowania geologicznego.

W Polsce opracowanie metod i technik stosowania oraz zastosowanie fotogeologii i fotogrametrii do celów topograficzno-geologicznych podjął Zakład Kartowania Geologicznego Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Pracownia Kartografii Geologicznej Zakładu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk. Instytut Geologiczny również rozpoczął praktyczne wprowadzanie fotogeologii do swoich prac kartograficzno-geologicznych.

¹ Proponuję nadać taką treść pojęciową temu terminowi, który według opinii T. Hagena (1950), a zwłaszcza R. Helblinga (1938, a szczególnie 1948) obejmuje zakres stosowania fotogrametrii topograficznej i fotointerpretacji w badaniach i kartowaniu geologicznym.

Pierwszym wydawnictwem Instytutu Geologicznego, przy którego opracowaniu z inicjatywy i pod kierunkiem autora obok innych metod zastosowano również metody fotogeologiczne i fotogrametryczne do rozwiązania problemów topograficzno-geologicznych, jest wydawana obecnie Mapa Geologiczna Tatr Polskich w skali 1 : 10 000.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zainteresowanym geologom i fotogrametrom jak cenne i samodzielne metody kartograficzno-geologiczne stanowią zarówno fotogeologia, jak i geologiczna fotogrametria topograficzna, zastosowane nawet w tak dobrze i z dawna rozpoznanych górskich terenach, jak Tatry Wysokie.

Tatry Wysokie, mimo niezbyt wielkiej wysokości (najwyższy szczyt 2686 m n.p.m.), charakteryzują się wysokogórską morfologią (średnie nachylenie stoków 27°; otoczenie Tatr: pagórkowate kotliny wzniesione średnio 950 m n.p.m.). Ich budowa geologiczna należy do najbardziej skomplikowanych, a zarazem typowych dla płaszczynowej budowy w europejskim łuku alpejskim.

Pierwsze syntetyczne opracowanie geologiczne Tatr Wysokich w formie mapy geologicznej w skali 1 : 75 000 zostało wydane przy końcu ubiegłego stulecia (V. Uhlig), a już w latach 1902—1903 M. Lugeon wykazał ich budowę płaszczynową.

Wydawana obecnie Mapa Geologiczna Tatr Polskich posiada szczególne znaczenie dla badań geologicznych Karpat centralnych i wzbudza żywe zainteresowanie wśród geologów alpejskich nie tylko w Polsce i Czechosłowacji, lecz także wśród innych alpejsko-karpackich zespołów geologów.

PODKŁAD TOPOGRAFICZNY

Podkład topograficzny kartograficznego zdjęcia geologicznego Tatr Polskich, a także wydawanej obecnie Mapy Geologicznej Tatr Polskich w skali 1 : 10 000 stanowi powiększona do skali 1 : 5000 oraz 1 : 8000 topograficzna Mapa Fotogrametryczna Tatrzańskiego Parku Narodowego wydana w latach 1936 i 1937 w skali 1 : 20 000 przez ówczesny Wojskowy Instytut Geograficzny. Dzięki starannemu opracowaniu fotogrametrycznemu jest ona bardzo dobrym podkładem topograficznym dla zdjęcia geologicznego, nawet wówczas, gdy zostaje powiększona do skali 1 : 5000, szczególnie na terenach powyżej górnej granicy lasu (od wysokości około 1400 m) i na terenach słabo zalesionych. Wierny rysunek skał tej części mapy oraz cięcie poziomicowe (10 m) wraz ze słabo zdezaktualizowaną pokrywą roślinną (zarośla kosodrzewiny), jak i pozostałe elementy topografii i sytuacji, zezwalają na swobodną wizualną lokalizację kartowanych elementów budowy geologicznej głębszego podłoża i młodszej czwartorzędowej pokrywy — „z przeciwległego stołu“.

Omawiana mapa powiększona do skali 1 : 5000 wykazuje jednak braki. Do najważniejszych należą tu: 1) partie zdezaktualizowanej topografii i sytuacji, rzadkie powyżej górnej granicy lasu, a więc na terenach opracowania wyłącznie fotogrametrycznego, częste na terenach zalesionych, a więc opracowanych także metodą stolikową; 2) zbyt mała dokładność przedstawienia szczegółów topograficznych w takich miejscach, gdzie budowa geologiczna (i w ogóle problematyka kartograficzno-geologiczna)

wymaga wiernego odwzorowania w skali podkładu (tu 1 : 5000), co znów jest szczególnie ważne w partiach zalesionych; 3) zbyt mała ilość jednoznacznych punktów nawizań dla ciągów poligonowych wykonywanych w skali 1 : 1000 — 1 : 2000, na których lokalizuje się fragmenty szczególnie skomplikowanej budowy geologicznej. Zaznaczyć przy tym należy, że fragmenty takie, szczególnie w terenach lesistych regli, obejmują niejednokrotnie powierzchnie kilku, a nawet kilkunastu kilometrów kwadratowych.

Do chwili zastosowania metod fotogrametrycznych wyrównywanie ciągów poligonowych (lokalizacyjnych) odbywało się w sposób następujący. Punkty nawizań, między którymi były prowadzone ciągi poligonowe, były identyfikowane na mapie fotogrametrycznej powiększonej do skali 1 : 5000 oraz w terenie. Zaznaczyć zaś należy, że z powodów zrozumiałych punktów takich poniżej górnej granicy lasu było bardzo mało. Następnie punkty te zostały wykazane przez ich współrzędne na układzie współrzędnych prostokątnych mapy z dokładnością ± 2 m, co do celów kartograficzno-geologicznej lokalizacji jest dokładnością wystarczającą. Rozrzucanie błędów ciągów poligonowych odbywało się następnie graficznie między takimi punktami nawizań, wykazanych na układzie współrzędnych prostokątnych wykreślonych (najczęściej niezbędnymi fragmentami) w skali ciągów poligonowych (1 : 1000, 1 : 2000). Praktyka wykazała, że w wypadku rzadko występujących punktów nawizań (np. 2÷4 na 1 km²) taka metoda wyrównywania błędów ciągów poligonowych busolowych² jest stanowczo zbyt mało dokładna. Wykonanie zaś ciągów poligonowych np. uniwersałem topograficznym lub innymi metodami topograficznymi jest zbyt kłopotliwe, czasochłonne i zbyt kosztowne. Z pomocą przyszła tu nam fotogrametria w sposób omówiony w następnym rozdziale.

Geolog kartujący teren o tak skomplikowanej budowie geologicznej jak Tatry, szczególnie ich partie zalesione, napotyka poważne, swoiste trudności natury topograficzno-geologicznej. Bardzo często zdarza się, że uporządkowanie określonej grupy zjawisk geologicznych (np. form akumulacji glacialnej lub skomplikowanych tektonicznie zespołów facjalnych występujących w intersekcji z powierzchnią ziemi) i określenie ich geologicznej sytuacji wymaga spojrzenia na nie jak na określoną syntetyczną całość. Taki znów obraz syntetyczny uzyskuje się najczęściej dopiero po wykonaniu zdjęcia geologicznego, którego warunkiem jest analityczne skartowanie składowych elementów takiego zespołu. Jeśli zaś przy kartowaniu analitycznym, np. z powodów technicznych, wymyka się spod obserwacji geologicznej właściwy wzajemny stosunek obserwowanych fragmentów analitycznych, wówczas kartujący geolog albo otrzymuje niedostatecznie wierny obraz syntetyczny, albo też ażeby osiągnąć obraz dostatecznie wierny, zmuszony jest wielokrotnie powracać do kartowanego terenu, wykonywać bardzo szczegółowe zdjęcia uzupełniające, stosować metody pomocnicze.

Podkreślić należy, że w kartowaniu geologicznym Tatr, a także wszystkich gór typu alpejskiego, z przyczyn wyżej omówionych szczegól-

² Busolowe ciągi poligonowe — wykonywane mało dokładnymi metodami stosowanymi w kartowaniu geologicznym.

nie poważne trudności sprawia geologom kartowanie „tektoniki składowej“ (mikrotektoniki), a także młodszych pokryw plejstocenijskich.

W likwidowaniu tych trudności wielkiej pomocy udzieliła nam przede wszystkim fotogeologia, a także fotogrametria w sposób i w zakresie omówionym w następnym rozdziale.

ZASTOSOWANIE FOTOGRAMETRII W PRACACH KARTOGRAFICZNO-GEOLOGICZNYCH W TATRACH

Jak to wynika z poprzednich omówień, kierunek stosowania metod fotogrametrycznych i fotogeologicznych przy kartowaniu Tatr został narzucony dwoma rodzajami trudności — natury topograficzno-geodezyjnej i geologiczno-kartograficznej.

Pierwszy rodzaj można sprecyzować jako zadanie znalezienia metody zagęszczenia punktów nawiązań między mapą topograficzną w skali 1:5000, terenem oraz planikami, sporządzonymi ciągami poligonowymi w skalach 1:1000 i 1:2000. Punkty te powinny być lokalizowane z dokładnością nie mniejszą od dokładności lokalizacji jednoznacznie zidentyfikowanych punktów w terenie i na układzie współrzędnych prostokątnych mapy 1:5000, zatem z wspomnianą wyżej dokładnością ± 2 m.

Zadanie to zostało ostatecznie rozwiązane przy zastosowaniu fototriangulacji radialnej, wykonanej metodą graficzną („metoda kalek“) w sposób ogólnie opisany w znanej pracy R. Helblinga (1948), a szczegółowo w podręczniku M. B. Piaseckiego (1958).

Napisałem „ostatecznie“, gdyż przed zastosowaniem fototriangulacji przeprowadziliśmy próby zastosowania lokalizacji punktów zidentyfikowanych (punktów nawiązań) poprzez przeliczenie ich przesunięcia radialnego S względem punktu głównego fotogramu lotniczego, przy uproszczeniu, że punkt ten odpowiada punktowi nadirowemu. Metoda ta, niewątpliwie prosta i dość dokładna, okazała się jednak znacznie bardziej pracochłonna w porównaniu z fototriangulacją radialną.

Metoda najszybsza, jaką jest prosta graficzna „poligonizacja“ elementu topograficznego lub sytuacyjnego (drogi, ścieżki, potoku, linii ostrego grzbietu) między dwoma punktami nawiązania zidentyfikowanymi równocześnie na fotogramie lotniczym, w terenie i na mapie topograficznej 1:5000, a także, gdy to było aktualne, na ciągu poligonowym 1:1000 — 1:2000, okazała się przydatna i dostatecznie dokładna tylko wówczas, gdy między niezbyt odległymi punktami nawiązań (np. 400–600 m, maksimum 1000 m) teren nie wykazywał zbyt wielkich załamania spadku. Natomiast bardzo dobrze uzupełnia ona metodę fototriangulacji radialnej, pozwalając interpolować treść topograficzną i sytuacyjną między punktami nawiązań zagęszczonymi fototriangulacją radialną.

Do omawianych opracowań fotogrametrycznych dysponowaliśmy dobrymi zdjęciami lotniczymi wykonanymi w skali około 1:20 000, powiększonymi do skali około 1:10 000.

Na tych fotogramach wykazywaliśmy punkty, które łatwo można było zidentyfikować zarówno w terenie, jak i na wykonanych już zdjęciach wielopoligonowych w skali 1:2000, a ponadto punkty jednoznacznie oznaczalne, także na podkładzie topograficznym (na mapie 1:5000). Punkty takie, bardzo nieliczne, wykorzystywano następnie do sprowadzenia szkic-

cu wykonanego fototriangulacyjnie i metodą uproszczonej poligonizacji z przypadkowej skali opracowania do ostatecznej skali podkładu kartograficznego (1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000).

Pomijam opis samego znanego zabiegu wykonywania fototriangulacji radialnej graficznej. Natomiast podać należy dokładność jej wykonania i źródła błędów. Fototriangulacja była wykonywana w skali około 1 : 4000. Uwzględniane były punkty ze stref potrójnego pokrycia w celu uzyskania trójkątów błędów. Największe trójkąty błędów grupowały się, rzecz zrozumiała, w wąskim pasie między punktami głównymi. Ich boki nie przekraczały średnio 1,5 mm, a trójkąty o bokach dłuższych były w ogóle eliminowane, jako obciążone zbyt niedokładną lokalizacją punktów na trzech fotogramach. Natomiast bardzo często (ponad 60% pomiarów) okazywało się, że skrajnie zewnętrznie usytuowane punkty dawały, praktycznie biorąc, lokalizację bezbłędną (trójkąty o bokach w granicach dziesiętnych milimetra).

Tak więc można stwierdzić, że punkty wyznaczone fototriangulacją radialną graficzną są lokalizowane z dokładnością $\pm 1,5$ m, zatem z dokładnością, o której wyżej była mowa, jako o dokładności zupełnie wystarczającej do potrzeb lokalizacji kartograficzno-geologicznej.

Jak wyżej wspomniano, między tak wyznaczonymi punktami nawiązań wysowywano potrzebne elementy topograficzne i sytuacyjne: drogi, ścieżki, szalasy, ciekły potoków, granice szaty roślinnej itd., z wykluczeniem jednak ostrych grzbietów skalistych, grup skał i w ogóle terenów o wielkich różnicach w wysokości względnej na krótkich odcinkach, a występujących w odległościach dość znacznych od punktu głównego przynajmniej jednego z trzech fotogramów pokrycia w szeregu.

Interpolację takich elementów wykonywaliśmy graficznie przy zastosowaniu pomocniczej siatki redukcyjnej, przy czym na modelu stereoskopowym w czasie decydowania punktów do fototriangulacji oceniano, czy interpolowany element nie wykazuje między punktami nawiązania (fototriangulacyjnymi) zbyt wielkich różnicowań w wysokościach względnych. Jakkolwiek obliczenia próbne, dokonane poprzez przeliczenie radialnych przesunięć S (ze znanego wzoru $\Delta S = \Delta h \cdot \frac{r}{f}$) wykazały, że popełniane zniekształcenia, nieuniknione przy tego rodzaju opracowaniu, nie przekraczały wartości około 2 m przesunięcia radialnego, to jednak w celu uniknięcia zbyt wielkich przeoczeń wybierano do interpolacji graficznej elementy o przebiegu zbliżonym do prostej łączącej punkty fototriangulacyjne.

Przed wszystkim jednak, jak wspomniano, punkty te zostały z wielkim powodzeniem wykorzystane do nawiązania ciągów poligonowych, wykonanych metodami znanymi i powszechnie stosowanymi w kartografii geologicznej (ciąg busolowy taśmowy zredukowany na kąt pionowy, ciągi „krokówkowe“).

Dośkonale wyniki dała również próba powiązania fototriangulacji radialnej wykonanej graficznie ze zdjęciem topograficznym wykonanym „teletopem“ Zeissa (z klinem 1 : 1000).

Można bez przesady powiedzieć, że w przyszłości takie połączenie fototriangulacyjnego wyznaczania punktów nawiązań ze zdjęciem topograficzno-geologicznym wielopoligonowym, przy zastosowaniu dalmierza

sprzężonego z busolą i kołem pionowym, jakim jest „teletop“, stanie się główną metodą wykonywania zdjęć topograficzno-geologicznych przy kartowaniu geologicznym.

W ostatnim okresie wykorzystywaliśmy też ciągi poligonowe zamknięte, stosowane jako ciągi wiążące bazy normalnych fotogrametrycznych zdjęć naziemnych, do sprowadzania wyżej opisanych układów fototriangulacyjnych ze skali przyjętej dla samego graficznego zabiegu fototriangulacji radialnej do skali potrzebnej do wyżej omówionych celów (1 : 1000 — 1 : 2000 — 1 : 5000). Odległość między przyjętymi dwoma punktami poligonu (wykonanego przy zastosowaniu łąty bazowej i tachyteodolitu Zeissa „Dahlta 020“), wyznaczona ze znacznie większą dokładnością od pomierzonych na układzie współrzędnych prostokątnych Mapy Fotogrametrycznej Tatr, zezwoliła nam na podniesienie także dokładności opisanej fototriangulacji radialnej graficznej, podobnie jak dokonane pomiary kątów poziomych do punktów przyjętych i wykazanych na fotografiach lotniczych, wykonane przy przeprowadzaniu pomiarów punktów orientacji zewnętrznej przy normalnych zdjęciach fototeodolitem.

Dla potrzeb zdjęcia kartograficzno-geologicznego Tatr wykonaliśmy także w Tatrach szereg zdjęć stereofotogrametrycznych naziemnych fototeodolitem Zeissa („PHOTHEO 19/1318“) oraz aparatem Linhof „Technika“, format 13×18, adaptowanym przeze mnie do zdjęć fotogrametrycznych w sposób opisany w artykule S. Jaczynowskiego (1959).

Ze względu na to, że zdjęcia te pod względem fotogrametrycznym nie wnoszą niczego istotnie nowego, poza zastosowaniem z powodzeniem kamery „Technika“, pominię omówienie tych prac. Natomiast zdjęcia naziemne, traktowane jako zdjęcia fotogeologiczne, szczególnie zaś wykonane także na kliszach czułych na światło podczerwone, wniosły istotnie nowe elementy do metodyki kartograficzno-geologicznej i z tego powodu zostaną niżej bardziej szczegółowo omówione.

FOTOINTERPRETACYJNE (FOTOGEOLOGICZNE) WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH I NAZIEMNYCH W PRACACH KARTOGRAFICZNO-GEOLOGICZNYCH W TATRACH

Jak wyżej wspomniano, fotogeologiczne opracowanie zdjęć lotniczych i naziemnych stało się jedną z metod pracy kartograficzno-geologicznej w Tatrach, mimo że treść intersekcyjna budowy geologicznej z powierzchnią terenu stosunkowo bardzo słabo zaznacza się w fototonie lotniczych zdjęć czarno-biało-szarych (kolorowymi zdjęciami naziemnymi i lotniczymi nie dysponowaliśmy), a lepiej — w fototonie zdjęć naziemnych.

Zdjęcia lotnicze zostały wykorzystane fotogeologicznie (fotointerpretacyjnie) głównie w kierunku rozpoznania, uporządkowania i kartograficzno-geologicznego przedstawienia utworów plejstocenijskich, w ogóle młodszej pokrywy i geomorfologii Tatr. Szczególnie przydatne okazały się one przy opracowaniu form akumulacji lodowcowej ostatniego zlodowacenia w głębi Tatr, powyżej górnej granicy lasu. Te formy akumulacyjne — moreny denne, czołowe i boczne, utwory peryglacjalne i fluwio-glacjalne — przedstawiają się kartującemu geologowi jako bezładne nagromadzenie kopczyków, wałków, pagórków zbudowanych z gruzu skalnego, często z olbrzymimi, bezładnie rozrzuconymi blokami skalnymi.

Między tymi formami występują liczne zagłębienia, często bezodpływowe, dość często zasypywane drobnym materiałem niesionym przez wody opadowe. Całość pokrywy plejstocenijskiej zasypywana jest stożkami nasypowymi i usypiskami zboczowymi staroholocenijskimi i współczesnymi. Geolog kartujący, a także badacz czwartorzędu mają nie lada trudne zadanie uporządkowania wymienionych form akumulacyjnych, a także związanych z nimi form erozyjnych w taki system, który byłby zgodny z przyjętą morfogenezą. Ta ostatnia zresztą, niestety, musi być przyjmowana właśnie na podstawie dokonanego uporządkowania kartograficzno-geologicznego omawianych form. Tego błędnego koła nie można czasami zlikwidować nawet najbardziej analitycznym zdjęciem, np. w skali 1:500. W tym bowiem przypadku kartujący geolog chodząc po terenie staje bezradny wobec chaosu i płataniny „bezludnie“ rozrzuconych bloków skalnych, często wielkości sporego domu.

Zdjęcia lotnicze, a szczególnie model przestrzenny stereoskopowy przewyższony zwłaszcza efektem hyperstereoskopowym, likwidują całkowicie opisane, a zasadnicze trudności kartograficzno-geologiczne i geologiczno-badawcze.

Przed wszystkim owe „chaotyczne“ formy morfologiczne i nagromadzenie „luźnych“ bloków skalnych układają się w modelu stereoskopowym w uporządkowany obraz: moren czołowych, bocznych, dennych, w napływy na tych morenach, w zboczowe utwory młodsze. Ponadto w modelu przestrzennym widać bardzo wyraźnie, które łuki recesyjnych wałów morenowych są starsze, a które młodsze.

Drogą analizy geologicznej modelu przestrzennego rozległego systemu morenowego doliny Stawów Gąsienicowych udało się wykryć w systemie recesyjnych form akumulacyjnych nieznane uprzednio formy progresywne, stadialne zresztą, w obrębie ostatniej, recesyjnej fazy zlodowacenia.

Ta nadzwyczajna przydatność zdjęć lotniczych umożliwiła autorowi opracowanie czwartorzędowej pokrywy Tatr w sposób geologicznie uporządkowany, jako pewnej całości na wydawanej Mapie Geologicznej Tatr Polskich w skali 1:10 000, co z kolei umożliwiło właściwe graficzne przedstawienie nie tylko plejstocenu, lecz także całej młodszej pokrywy na tej mapie.

Równie przydatna okazała się analiza fotogramów lotniczych do uporządkowania i rozpoznania, a następnie kartograficznego ujęcia czwartorzędowych form erozyjnych, zarówno w głębi Tatr, jak nawet na ich przedpolu. Szczególnie dobrze czytelne są tu związki między formami egzaracji lodowcowej a przewodnimi rysami budowy geologicznej. Fotointerpretacja geologiczna zdjęć lotniczych pozwoliła na uporządkowanie, a w rezultacie też na opracowanie genetyczne form erozji i akumulacji rzecznej na przedpolu Tatr w obrębie kotliny Zakopanego. W wyniku przeprowadzenia analizy fotogeologicznej zdjęć lotniczych tej kotliny okazało się, że można zrekonstruować stare przepływy rzek i potoków. Rekonstrukcja zaś pozwoliła z kolei na udowodnienie znacznie młodszego wieku podstawowych form morfologii kotliny Zakopanego niż to było dotychczas przyjmowane, co może mieć znaczenie ogólne dla badań czwartorzędu w Tatrach i w ich otoczeniu. Częściowe wyniki tych prac, jeżeli chodzi o kotlinę Zakopanego, zostały opublikowane przez

autora i W. Jaczynowską w 1959 r., jeśli zaś chodzi o podobne problemy w głębi Tatr — przez S. Jaczynowskiego (1959) oraz M. Hakenberga (1950, 1959).

Bardzo interesujących danych dotyczących spekań tektonicznych trzonu krystalicznego Tatr dostarczyły zdjęcia lotnicze (i naziemne). Ten bardzo ważny problem był trudny do rozwiązania z powodów podobnych jak problem akumulatów czwartorzędowych. Na zdjęciach lotniczych widać natomiast doskonale, gdzie występują strefy największych skupień spekań, jak układają się strefowo ich określone kierunki, jak te strefy wpływają na morfologię (zwłaszcza na formy erozyjne) itp. Zdjęcia te wykorzystano również do identyfikacji przebiegu niektórych granic (kontaktów) geologicznych, a następnie zjawisk związanych z hydrologią i hydrogeologią terenu itd., w zakresie znanym przykładowo z fachowej literatury.

Podkreślić należy, że fotointerpretacja geologiczna oczywiście nie zastąpiła w zupełności innych metod kartowania i badania geologicznego. Niemniej jednak stała się ona w badaniach i w kartografii geologicznej tatrzańskiej (i w ogóle alpejskiej) jedną z głównych metod, swoistą i niezastąpioną dzięki temu, że umożliwia porządkowanie i systematyzowanie zjawisk i procesów geologicznych w sposób niemożliwy do osiągnięcia za pomocą innych metod badawczych geologii i nauk pokrewnych.

Również zdjęcia naziemne okazały się nieocenione przy fotointerpretacji przedstawionych na tych zdjęciach zjawisk i procesów geologicznych.

Podkreślić tu należy, że przede wszystkim model stereoskopowy oddaje nieocenione usługi w badaniu i porządkowaniu zjawisk geologicznych przedstawionych na zdjęciach naziemnych. Wielokrotne powiększenie się głębi przestrzennego widzenia na takim modelu, w porównaniu z głębią normalnego ludzkiego obserwowania terenu, pozwala geologowi na obserwowanie form tektonicznych, morfologicznych i innych widocznych normalnie „na jednym planie“ w sposób uporządkowany w przestrzeni modelu stereoskopowego i w przestrzeni rzeczywistej. Dla geologa, który już opanował fotointerpretację geologiczną zdjęć naziemnych i lotniczych, każda nowa stereopara zdjęć naziemnych z terenu nawet już zbadanego jest zawsze źródłem odkryć i emocji badawczych: potwierdzeniem przyjmowanych koncepcji o budowie i genezie geologicznej terenu, a często uzupełnieniem w istotnych szczegółach takiej koncepcji, poza normalną metodą badania i porządkowania zjawisk i procesów geologicznych.

W tatrzańskich pracach kartograficzno-geologicznych zdjęcia fotograficzne naziemne zostały wykorzystane dzięki ich wyżej omówionym wartościom metodycznym, szczególnie przy kartowaniu młodszego pokrywy i plejstocenu, a także szczegółów tektoniki skał głębszego podłoża, głównie krystalicznego.

Fotointerpretacja geologiczna zdjęć naziemnych pozwoliła (model przestrzenny hyperstereoskopowy, fototon) wykryć formy erozyjne normalnie nieczytelne, zasypane całkowicie materiałami akumulacji zboczowej, dziś ekshumowane, a związane z okresem recesyjno-postglacjalnym i ze starszym holocenem (praca S. Jaczynowskiego, 1959).

Podkreślić w końcu należy szczególną celowość dokonywania zdjęć naziemnych na materiale negatywowym, uczulonym na promienie pod-

czerwone, na którym fototon zdjęcia w sposób swoisty, odmienny od klisz czarno-białych, przedstawia zjawiska i procesy geologiczne.

Stereomodele takich zdjęć, wykonanych na kliszach „Agfa Infrarot-Rapid“ 750 i 950, umożliwiły nie tylko ostre rozgraniczenie odkrytej skały od utworów zwietrzelinowych, lecz także zlokalizowanie pokrywy zwietrzelinowej, silnie i płytko zawodnionej. Niezależnie od tego fototon klisz normalnych i podczerwonych pozwolił na odczytanie szczegółów lub przewodnich elementów budowy geologicznej głębszego podłoża i jego zróżnicowania facjalnego. Również badania tektoniki nieciągłej skał trzonu krystalicznego bardzo zasadniczo zostały ułatwione jednocześnie przeprowadzoną interpretacją zdjęć naziemnych.

Wzorując się głównie na pracy R. Helblinga (1948) wprowadziliśmy do tatrzańskiej kartografii geologicznej (zresztą i poza Tatrami również) opracowania przekrojowe, oparte na zdjęciach naziemnych. Dzięki takim opracowaniom, wykonanym konsekwentnie jako swojego rodzaju mapy, będące rzutem ortogonalnym na przyjętą rzutnię pionową, można było poważnie uzupełnić i skorygować obowiązujące schematy „stylu tektonicznego“ tatrzańskich serii geologicznych.

Podkreślić bowiem należy, że zarówno zdjęcia fotogrametryczne lotnicze, jak i naziemne, mogą być bezpośrednio wykorzystane do kartometrycznych opracowań geologicznych.

Opracowania te obejmują przede wszystkim geometryczną analizę form tektonicznych w związku z ich intersekcją.

Tego rodzaju analizy, które można ogólnie nazwać geometrycznymi analizami struktur geologicznych (w naszym przypadku ściślej: intersekcji tych struktur z odfotografowaną powierzchnią terenu), mają bardzo wielką przyszłość w badaniach geologicznych i w pracach kartograficzno-geologicznych, szczególnie wówczas, gdy interpretację zdjęć fotogrametrycznych (modelu przestrzennego, fototonu itd.) powiążemy z wynikami „płytko“ wykonanych zdjęć geofizycznych odpowiednio zagęszczonych (elektrooporowych, magnetycznych, sejsmicznych, radiometrycznych i emanometrycznych). Takie połączenie obu metod (fotogrametrycznej i geofizycznej, doskonale wzajemnie się uzupełniających, jest niewątpliwie dalszym postępowaniem w kartografii geologicznej i otwiera nową drogę do jej działalności.

W przygotowaniu do druku znajdują się pierwsze próby, uwieńczone zresztą dodatnimi wynikami, zastosowania do kartowania geologicznego fotogeologii i metod geofizycznych „płytkich“.

Jak widzimy, metody fotogeologii i fotogrametrii topograficznej zastosowanej do kartografii geologicznej nie są bynajmniej metodami badań i kartowania geologicznego tylko nowych nie zbadanych terenów. Przeciwnie, są one już dziś odrębnymi metodami badań geologicznych i kartowania geologicznego. W tym też kierunku zmierza ich dalszy, niewątpliwie coraz bogatszy w treść rozwój, jako nowych dróg badań geologicznych i nowych metod kartografii geologicznej.

Opierając się na własnych doświadczeniach i na danych z literatury można określić następujące warunki dalszego, szybkiego rozwoju i stosowania metod fotogrametrycznych i fotogeologicznych w geologii:

1. Metody fotogrametryczne i fotogeologiczne powinny być stale i konsekwentnie powszechnie stosowane przez geologów, tylko bowiem z ich

pomocą geologowie zdobędą biegłość w geologicznym interpretowaniu zdjęć lotniczych i naziemnych, a więc spełnią pierwszy i podstawowy warunek powodzenia stosowania fotogrametrii i fotogeologii w pracach geologicznych.

2. Geologowie powinni najściślej współpracować z fotogrametrami topograficznymi. W instytucjach geologicznych, zwłaszcza kartograficzno-geologicznych, obok geologów, którzy dobrze opanowali fotogeologiczne i fotogrametryczne metody, powinni pracować fotogrametryści z dużym fotogrametrycznym doświadczeniem. Głównym zadaniem takiej współpracy jest opracowywanie stosowania uproszczonych metod fotogrametrycznych, jako metod kartograficzno-geologicznych, na terenach badań.

3. Rozwój fotogeologii musi być zapewniony przez stosowanie w badaniach geologicznych i w kartografii geologicznej wszystkich możliwych metod i technik fotografowania zjawisk i procesów geologicznych: stosowanie różnych materiałów negatywowych — normalnych, podczerwonych, nadfioletowych, kolorowych, kolorowo-strefowych; stosowanie zdjęć w różnych porach roku i dnia; mikrostereofotogrametria; stereofotogrametria rentgenologiczna itp. Fotogeologia bowiem jest rozszerzeniem skali ludzkiego widzenia oraz głębi tego widzenia i to jest główną podstawą jej metodologicznej przydatności.

4. Fotogeologię i fotogrametrię geologiczną należy w badaniach i w kartowaniu geologicznym połączyć z równoczesnym wykonywaniem badań geofizycznych, zagęszczonych, lecz nie głębokich, nawiązujących bezpośrednio do wyników interpretacji fototonu i modelu przestrzennego.

Autonomizm tych metod i technik, wśród stosowanych w kartowaniu geologicznym i w badaniach geologicznych, powinien znaleźć swój wyraz w odpowiednim ich wykorzystaniu w praktyce geologicznej oraz w reprezentowaniu na międzynarodowych kongresach geologicznych i fotogrametrycznych. Na fotogrametrycznych — w ramach Komisji VII — są one znacznie szerzej traktowane niż na kongresach geologicznych.

Katedra Geologii Ogólnej U. W.
Nadesłano dnia 2 września 1960 r.

PIŚMIENNICTWO

- FOLDYNA J. (1960) — Zdjęcia lotnicze na usługach geologii. *Prz. geol.*, 8, p. 323—325, nr 6. Warszawa.
- GUZIK K. (1959) — Mapa Geologiczna Tatr Polskich w skali 1 : 10 000. *Prz. geol.*, 7, p. 344—347, nr 8. Warszawa.
- GUZIK K., JACZYNOWSKA W. (1959) — Uwagi o morfogenezie „trójkąta zakopiańskiego” w Kotlinie Zakopiańskiej. *Acta geol., pol.*, 19. Warszawa.
- HAGEN T. (1960) — Wissenschaftliche Luftbildinterpretation. *Geographica Helvetica* nr 4. Zürich.
- HAKENBERG M. (1960) — Wykorzystanie zdjęć lotniczych i naziemnych przy kartowaniu czwartorzędu w Dolinie Pięćdu Stawów Polskich w Tatrach. *Prz. geol.*, 7, p. 96—96, nr 2. Warszawa.

- HAKENBERG M. (1959) — Uwagi o morfologii glacialnej Doliny Pięciu Stawów Polskich w Tatrach. *Prz. geol.*, 7, p. 364—369, nr 8. Warszawa.
- HELBLING R. (1938) — I. Die Anwendung der Photogrammetrie bei geologischen Kartierungen. II. Zur Tektonik des St. Gallen Oberlandes und der Glarneralpen. *Schw. Naturf. Gesellsch.*, N. F. 76. Bern.
- HELBLING R. (1948) — Studies in photogeology. Zürich.
- JACZYNOWSKI S. (1959) — Fotogrametryczna analiza młodziej pokrywy i form czwartorzędowych Doliny Chochołowskiej i Jarzączej w Tatrach Zachodnich. *Prz. geol.*, 7, p. 369—372, nr 8. Warszawa.
- LACMAN O. (1950) — Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten. Leipzig.
- PIASECKI M. B. (1958) — Fotogrametria lotnicza i naziemna. Warszawa.
- WOLF E. (1958) — Photogrammetrische Festpunktverdichtung. VEB — C. Zeiss. Kompendium III. Jena.

Казимеж ГУЗИК

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ И ОБЫКНОВЕННЫХ
ФОТОГРАФИЙ ПРИ КАРТИРОВАНИИ И ОБРАБОТКЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
КАРТЫ ПОЛЬСКИХ ТАТР В МАСШТАБЕ 1:10 000**

Резюме

При подготовке к печати издаваемой Геологическим Институтом (в Варшаве) геологической карты польских Татр в масштабе 1:10 000 автором и его со-трудниками широко применялись методы топографической фотограмметрии и фотоинтерпретации (фотогеологии¹), фотографических обыкновенных снимков и аэроснимков. Применялась радиальная фототриангуляция методом кальки, розеты целовых к принятым точкам с вычислением радиального смещения целовых точек и упрощенной фотополитонизацией топографического и геологического содержания между точками загущенными вышеизложенными методами. Полезным оказалось производить геолого-топографические съемки увязанные с точками загущенными главным образом радиальной фототриангуляцией при помощи универсального дальномера „Teletop“ Цейсса.

Радиальная фототриангуляция, съемка дальномером „Teletop“ и обыкновенные геолого-картографические съемки производимые при помощи геологического компаса (например „Meridian“ Уайльда) связывались с политонным ходом (производимым до сих пор только в некоторых местах), соединяющей базы фотограмметрических обыкновенных съемок фототеодолитом „Phototheo 1318“ Цейсса.

Такое связывание дало возможность точно привести случайный масштаб обработки радиальной фототриангуляции к принятому масштабу (1:2000—1:5000)

¹ Предлагаю придать такое содержание этому термину, которое по мнению Т. Хагена (1950), а в особенности Р. Хельблинга (1938 и 1948), охватывает применение топографической фотограмметрии и фотоинтерпретации в геологических исследованиях и картировании.

и кроме того определить точность фототриангуляции и исправления ошибок, ликвидацию „мертвых полей” терростереофотограмметрической съемки. Связывание методов топографической фотограмметрии с топографическими методами геолого-картографической съемки дает великолепные результаты и, что особенно ценно, дает возможность производить геолого-картографическую съемку непосредственно на аэрофотограммах и на фотограммах наземных.

Вышеописанные методы геологической топографии являются в настоящее время самыми скорыми, точными и экономными. Разумеется, что в районах более плоских чем Татры они окажутся еще более пригодными.

Производилась также и массово-наземная фотограмметрическая съемка не только фототеодолитом Цейсса, но и приспособленным к фотограмметрической съемке аппаратом „Linhof Technika” 13×18, стереобазой собственной конструкции с аппаратами 6×6 („Start”, „Certo-Six”) и обыкновенными фотоаппаратами. Кроме известной применяемости фотограмметрических наземных съемок, использованных для обработки упомянутой карты, был произведен на них детальный анализ структур покрова (в Червоних Верхах) новым методом геометрического анализа таких структур, а также анализ трещиноватых зон кристаллического основания (этот последний тоже на аэроснимках).

Вторым действительно важным вопросом при использовании фотограмметрических аэро- и наземных снимков при обработке геологической карты Польских Татр является геологическая фотоинтерпретация этих съемок — как фототона, так и, самое главное, их стереомодели.

Следует подчеркнуть, что фотоинтерпретация доставила данные о геологических явлениях и процессах, таких как аккумуляция, четвертичная эрозия и этапы их развития, элементы тектоники пликативной и разрывной, влияние геологических структур на развитие гидрогеологической сети и реконструкция развития этой сети и тем подобное, в размерах и способом не достижимым иным картографически-геологическим путем.

Следует тоже подчеркнуть, что применение при фотограмметрических наземных съемках чувствительных на инфракрасный свет клише „Agfa Infrarapid” значительно увеличило возможность использования геологической фотоинтерпретации.

Первые попытки увязывания методов топографической фотограмметрии и „фотогеологии” с неглубокими геофизическими съемками доказали, что такое увязывание создает новые пути для геологических исследований, а в особенности для картографически-геологических обработок.

Можно выразить мнение, что топографическая фотограмметрия применяемая надлежащим образом при геологическом картировании и геологическая фотоинтерпретация (фотогеология) являются новым оригинальным методом и техникой геологических исследований и картографически-геологических работ, а не только вспомогательным картографически-геологическим методом (как например упрощенный топографический метод применяемый при картографически-геологической локализации). Методы эти наводят геолога, свойственным им образом, на исследования явлений и геологических процессов и на их пространственное расположение, а иногда тоже и временное, на заснятой площади на фотограмметрических аэро- и наземных снимках, или по крайней мере, стереоскопических. Самостоятельность этих методов должна быть выражена соответствующим их отражением в геологической практике, а также на международных геологических и фотограмметрических конгрессах.

Kazimierz GUZIK

**UTILIZATION OF AEROPHOTOGRAMMETRIC AND TERRESTRIAL SURVEYS
FOR MAPPING AND PREPARATION FOR PRINTING THE GEOLOGICAL
MAP OF THE POLISH TATRA MOUNTAINS, SCALE 1 : 10 000**

Summary

Preparing for printing the Geological Institute's "Geological Map of the Polish Tatra Mountains", scale 1 : 10 000, the author and his associates employed on a large scale topographical photogrammetry, and photointerpretation ("Photogeology")¹ of aerophotogrammetric terrestrial surveys. In their work, they used graphical radial phototriangulation method, rosettes of directions to accepted measurement points with calculation of the radial deviation of direction points, and the simplified photopolygonal method of topographical and geological data between concentrated points, by the use of the methods previously mentioned. Very useful proved to be geological-topographical surveys connected with points concentrated mainly by radial phototriangulation, using a universal telemeter "Teletop" made by C. Zeiss in Jena.

The authors connected their phototriangulation, their "Teletop" survey and their normal cartographic-geological survey work using a geological compass (e.g., Wild's "Meridian"), with polygonal surveys (so far established but sporadically); these surveys connected the individual bases of photogrammetric terrestrial surveys carried out by a phototheodolite "Phototheo — 1318" made by C. Zeiss in Jena.

Such connection made it possible to reduce precisely the incidental scale of radial phototriangulation to the chosen survey scale (1 : 2000—1 : 5000); moreover, it enabled the authors to determine the accuracy of the phototriangulation carried out, to compensation of errors, and to eliminate "dead areas" in their terrestrial photogrammetric survey.

This connection of topographical photogrammetry with topographical methods of cartographical-geometrical surveys yields excellent results, and — a feature particularly valuable — it enables the geodesist to prepare cartographical-geological mapping in the field directly on aerial and terrestrial photograms.

At the present time, the described methods of geological topography are the most rapid and efficient and the least expensive known. Of course, in less mountainous areas than the Tatra Mountains, they are bound to prove even more useful.

The authors made a great number of photogrammetrical terrestrial photographs not only by means of the Zeiss phototheodolite, but also with a "Linhof-Technika" 13 × 18 camera specially adapted for photogrammetrical photographs, a stereobase of the author's own construction, with 6 × 6 cameras "Start" and "Certo-Six", and with normal photo cameras. For preparing the discussed geological map the authors made use of the well known usefulness of terrestrial photogrammetric surveys; these they also used for analyzing in detail nappe structures (in Czerwone Wierchy) by means of a novel method of geometrical analysis of this type of structures, and for analyzing the zone of fissures in the crystalline core (the latter on airphotos too).

¹ In agreement with Hagen (1950) and, particularly, Helbling (1938 and 1948) I suggest the term "photogeology" to signify the scope of the application of topographical photogrammetry and photointerpretation in geological research and mapping.

A second, essentially important field of utilizing, for the Geological Map of the Tatra Mountains, aerophotogrammetric and terrestrial mapping has been the geological photointerpretation of these photographs, of their phototone as well as — especially so — their stereomodels.

It should be particularly stressed that photointerpretation has supplied information on geological occurrences and processes such as Quaternary accumulation and erosion and on phases of their development, on elements of continuous or non-continuous tectonics, on the influence of geological structures upon the development of the hydrographic network and upon the reconstruction of this development, etc. — all in a scope and manner utterly unobtainable by any other cartographical-geological means.

The first attempts of connection methods of topographical photogrammetry and "photogeology" with shallow geophysical surveys indicates this combination to open new perspectives for geological research, especially for cartographical-geological investigations.

In conclusion it might be claimed that topographical photogrammetry suitably applied in geological cartography and in geological photointerpretation ("photogeology") are new, original method and techniques of geological research and cartographical-geological studies, and by no means *auxiliary* cartographical-geological methods (such as, for instance, simplified topographical methods used for cartographical-geological localization). This is due to the fact that these methods enable the geologist, in a specific manner, to disclose geological phenomena and processes and to discern them as to location and, sometimes also, as to age, on areas pictured by aerial or terrestrial photogrammetrical or, at least, on stereoscopic photographs. The autonomism of these methods should find its expression in their suitable application in geological field practice, as well as in reports and discussions of international geological and photogrammetrical congresses.