

Stanisław DOKTÓR, Marek GRANICZNY

Fotogeologiczna analiza zdjęć satelitarnych Karpāt

W wyniku interpretacji zdjęć satelitarnych standardowych i cyfrowo przetworzonych opracowano mapę fotolineamentów Karpat i zapadliska przedkarpackiego. Analiza mapy wskazuje, że szereg fotolineamentów znajduje uzasadnienie w znanych uskokach i strefach tektonicznych. Rozkład i kierunki innych fotolineamentów świadczą o możliwości wykorzystania tej mapy do dalszych opracowań geologicznych Karpat, zarówno kartograficznych, jak i regionalnych. W artykule podjęto również próbę analizy niektórych fotolineamentów nie mających dotychczas odbicia w znanych zjawiskach geologicznych.

WSTĘP

Wyznaczenie elementów tektoniki nieciągłej w Karpatach napotykało i napotyka na pewne niedogodności z uwagi na trudno dostępny teren oraz duże pokrycie roślinnością. Wiele nowych informacji dotyczących tych struktur dostarczyły prace geofizyczne. Zdjęcia satelitarne oraz inne techniki teledetekcyjne mogą również rzucić nowe światło na zagadnienie tektoniki nieciągłej zarówno powierzchniowej (zdjęcia lotnicze i radarowe), jak i wglębnej (zdjęcia satelitarne). Artykuł stanowi próbę porównania wyników badań geologicznych, przeprowadzonych na obszarze Karpat, i niektórych danych geofizycznych z materiałami uzyskanymi na drodze teledetekcji. Obszar fotogeologicznego opracowania obejmuje całe Karpaty Polskie, Karpaty Słowackie oraz część Karpat położoną w Związku Radzieckim (po linię Skole–Rozchurcze).

W artykule zwrócono uwagę na szczególne zalety stosowania zdjęć satelitarnych w odniesieniu do terenu częściowo zakrytego oraz miejscami trudno dostępnego, a ponadto na możliwości dokonania wielu ciekawych spostrzeżeń dzięki naturalnej generalizacji elementów krajobrazu oraz jednoczesnej obserwacji dużych obszarów. Poświęcono także wiele miejsca problematyce związanej z metodyką

interpretacji zdjęć satelitarnych obszarów górskich, dla przybliżenia jej szerokiemu gronu potencjalnych użytkowników.

Analiza zdjęć satelitarnych Karpat pozwoliła na sformułowanie ogólnych uwag metodycznych dotyczących możliwości rozpoznania struktur takich jak: uskoki, strefy sphań, fałdy oraz granice litologiczne.

MATERIAŁY WYKORZYSTANE DO INTERPRETACJI FOTOGEOLOGICZNEJ I UWAGI METODYCZNE

Do interpretacji wykorzystano wszystkie zdjęcia satelitarne typu Landsat z obszaru Karpat dostępne w Instytucie Geologicznym, czyli 25 obrazów wykonanych między 1974 i 1980 r. z trzech kolejnych satelitów. Sceny te zostały poddane niezależnej interpretacji przez dwóch fotogeologów. Obrazy z Landsata stanowią zazwyczaj cztery oddzielne zdjęcia monochromatyczne, z których każde prezentuje obraz zarejestrowany w wybranych przedziałach widma widzialnego i bliskiej podczerwieni. Najbardziej charakterystyczną cechą jest podobieństwo pasma czwartego i piątego (zielone i czerwone) oraz szóstego i siódmego (bliska podczerwień), dlatego też największy kontrast widmowy jest osiągnięty przez porównanie tych pasm (4 lub 5 z 6 lub 7).

Celem każdej interpretacji jest otrzymanie jak największej ilości informacji ze zdjęcia satelitarnego. Decydujący dla wyników może być wybór „odpowiedniego” zdjęcia, o dobrej jakości i wykonanego w dogodnej porze roku. Dlatego też, oprócz znajomości możliwości wykorzystania danych zawartych w poszczególnych pasmach, niezbędne jest rozpatrzenie warunków, w jakich zostało wykonane zdjęcie. Zasób informacji na tych zdjęciach w dużym stopniu zależy od pory roku, w której zostały wykonane. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na jakość zdjęć, a związanymi ze zmianami sezonowymi, są: położenie słońca, pokrywa roślinna i śnieżna. Ze względu na naturę orbit satelitarnych, położenie słońca będzie stałe w krótkich odcinkach czasu dla tych samych szerokości geograficznych. Dobór najkorzystniejszego dla potrzeb interpretacji kąta padania promieni słonecznych (zmiany kąta padania promieni słonecznych przedstawia fig. 1) będzie głównie zależał od nachylenia zboczy. Generalnie za optymalny uważa się kąt o $2-3^{\circ}$

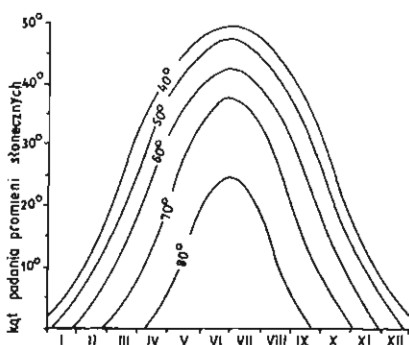


Fig. 1. Zmiany kąta padania promieni słonecznych o godzinie 9⁰⁰ czasu lokalnego, w zależności od pór roku, dla wybranych szerokości geograficznych
Seasonal changes in angle of falling of sun rays at 9⁰⁰ a.m. (local time) for selected latitudes

mniej od maksymalnego nachylenia stoków. Przy zbyt wysokim położeniu słońca zbocza odsłoneczone są za bardzo oświetlone, przy zbyt niskim natomiast znajdują się w głębokim cieniu, co w obu przypadkach może spowodować utratę informacji. Dlatego dla interpretacji obszarów górskich optymalny kąt padania promieni słonecznych powinien zazwyczaj wynosić powyżej 30° , dla pagórkowatych $12-20^\circ$ i dla płaskich lub lekko falistych poniżej 5° .

Cennym wskaźnikiem interpretacyjnym, zwłaszcza na obszarach o znacznych deniwelacjach, może być również pokrywa śnieżna. W przypadku jej obecności większość szczegółów nietopograficznych (z wyjątkiem pokrywy leśnej) jest w zasadzie zamaskowana i dzięki temu obraz staje się „oczyszczony”. Pokrywa śnieżna wraz z odpowiednio małym kątem padania promieni słonecznych jest często najlepszą kombinacją dla obserwacji elementów strukturalnych (fig. 2).

Jak dotychczas istnieje niewiele danych dotyczących zależności zespołów roślinnych od gleby lub budowy geologicznej. Wydaje się, że w tej dziedzinie tkwią znaczne możliwości dla interpretacji zdjęć satelitarnych.

Dla czytelności elementów budowy geologicznej na zdjęciach satelitarnych niezbędne jest spełnienie następujących warunków:

- jednostki geologiczne powinny być odpowiednio duże w stosunku do zdolności rozdzielczej satelitów Landsat, wynoszącej 60–80 m;
- różne jednostki geologiczne powinny mieć odmienne charakterystyki widmowe;
- różne jednostki powinny charakteryzować się odmiennością morfologiczną;
- powinien być zachowany związek między strukturą i teksturą zdjęcia oraz elementami budowy geologicznej.

Jak z tego wynika na zdjęciach satelitarnych możliwe jest rozpoznanie regionalnych struktur geologicznych oraz niektórych granic litologicznych.

Na obrazach Landsata wygląd skał osadowych zmienia się w szerokim zakresie. Tam gdzie są one w dużym stopniu odsłonięte, efekt zróżnicowanej erozji skał twardszych i bardziej miękkich może ujawnić płaszczyzny warstwowania oraz struktury fałdowe, wskazujące że są to skały osadowe. Typ skały z reguły nie może być określony na podstawie charakterystyki widmowej. Niektóre osady można zidentyfikować dzięki charakterystycznemu drenażowi i strukturom spękaniaowym. Wskaźnikami rozpoznawczymi mogą też być linijne elementy morfologiczne. W przypadku jednakowej odporności na erozję jednostek w seriach skalnych zdjęcia satelitarne wnoszą zazwyczaj niewiele informacji. Na obszarach pokrytych całkowicie roślinnością serie osadowe mogą być rozpoznane na podstawie analizy tekstury, drenażu, linijnych form morfologicznych oraz zmian w rozkładzie roślinności. W tym przypadku obowiązuje jednak ostrożność przed zbyt pochopnym wyciąganiem wniosków. Odróżnienie skał osadowych od magmowych i metamorficznych na zdjęciach satelitarnych jest możliwe w bardzo ograniczonym stopniu. Każdorazowo decyduje o tym zespół cech rozpoznawczych takich jak: struktura, tekstura, kształt, zróżnicowanie roślinności oraz wzajemny stosunek interpretowanych form.

Struktury fałdowe są widoczne na zdjęciach, jeśli poszczególne jednostki litologiczne mają odmienne współczynniki odbicia światła, charakteryzują się zróżnicowaną morfologią lub pokrywą roślinną. Ponadto, aby jednostki fałdowe mogły być rozpoznane na zdjęciach muszą mieć co najmniej 0,5 km szerokości. Ograniczenia wynikające ze zdolności rozdzielczej Landsata nie pozwalają również na rozpoznanie pojedynczych płaszczyzn spowodowanych złupkowaniem lub zgnejnowaniem. Często natomiast na obszarach występowania skał metamorficznych możliwe jest określenie tekstur linijnych odpowiadających strefom foliacji czy złupkowacenia.

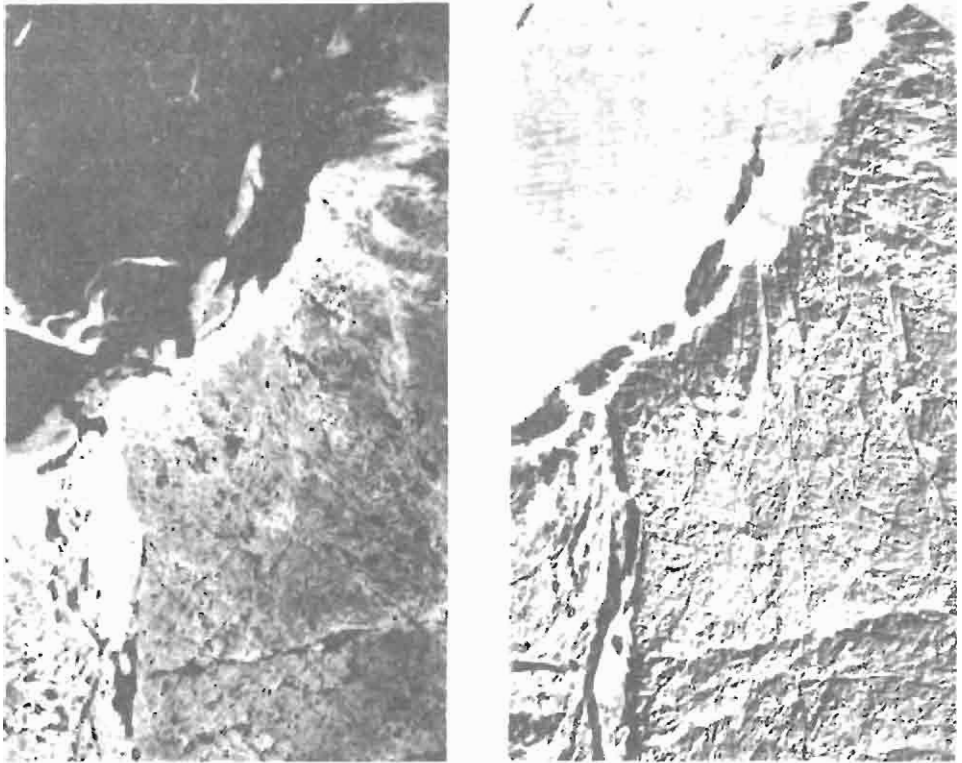


Fig. 2. Fragmenty dwóch zdjęć satelitarnych (Zatoka Coronation w północno-zachodniej Kanadzie) wykonanych w różnych porach roku. Na zdjęciach jest widoczny skrajny przykład wpływu kąta padania promieni słonecznych na wypuklenie elementów strukturalnych. Zdjęcie lewe wykonane latem, kąt padania promieni słonecznych 42° . Zdjęcie prawe wykonane w styczniu, kąt padania promieni słonecznych 3° . Na większą czytelność elementów strukturalnych wpływa niskie położenie słońca i występowanie pokrywy śnieżnej

Fragments of two satellite photos of the Coronation Bay (NW Canada), taken in different seasons. The photos reflect an extreme influence of the angle of falling of sun rays on readability of structural elements. The left photo has been made in summer (sun rays falling at the angle of 42°) and the right – in January (sun rays falling at the angle of 3°). It appears that low location of Sun and the presence of snow cover increase readability of structural elements

Uskoki i spękania są czytelne na zdjęciach Landsata dzięki rejestracji nagłych zmian topografii, granic litologicznych, charakterystycznego drenażu, rozkładu roślinności lub użytkowania terenu. W ogromnej większości przypadków cechą identyfikacyjną spękań i uskoczków są doliny o wyraźnym przebiegu prostoliniowym. Często uwidaczniają one zwiększoną erozję skał, osłabionych na skutek spękań i dyslokacji wzdłuż stromo zapadających płaszczyzn. Uskoki są również czytelne w przypadkach nagłych zmian typu skał, zwłaszcza gdy elementy strukturalne (warstwowanie, fałdy) po obu stronach kontaktu mają różną orientację.

Większość wymienionych wskazówek interpretacyjnych znalazła zastosowanie przy interpretacji zdjęć satelitarnych Karpat.

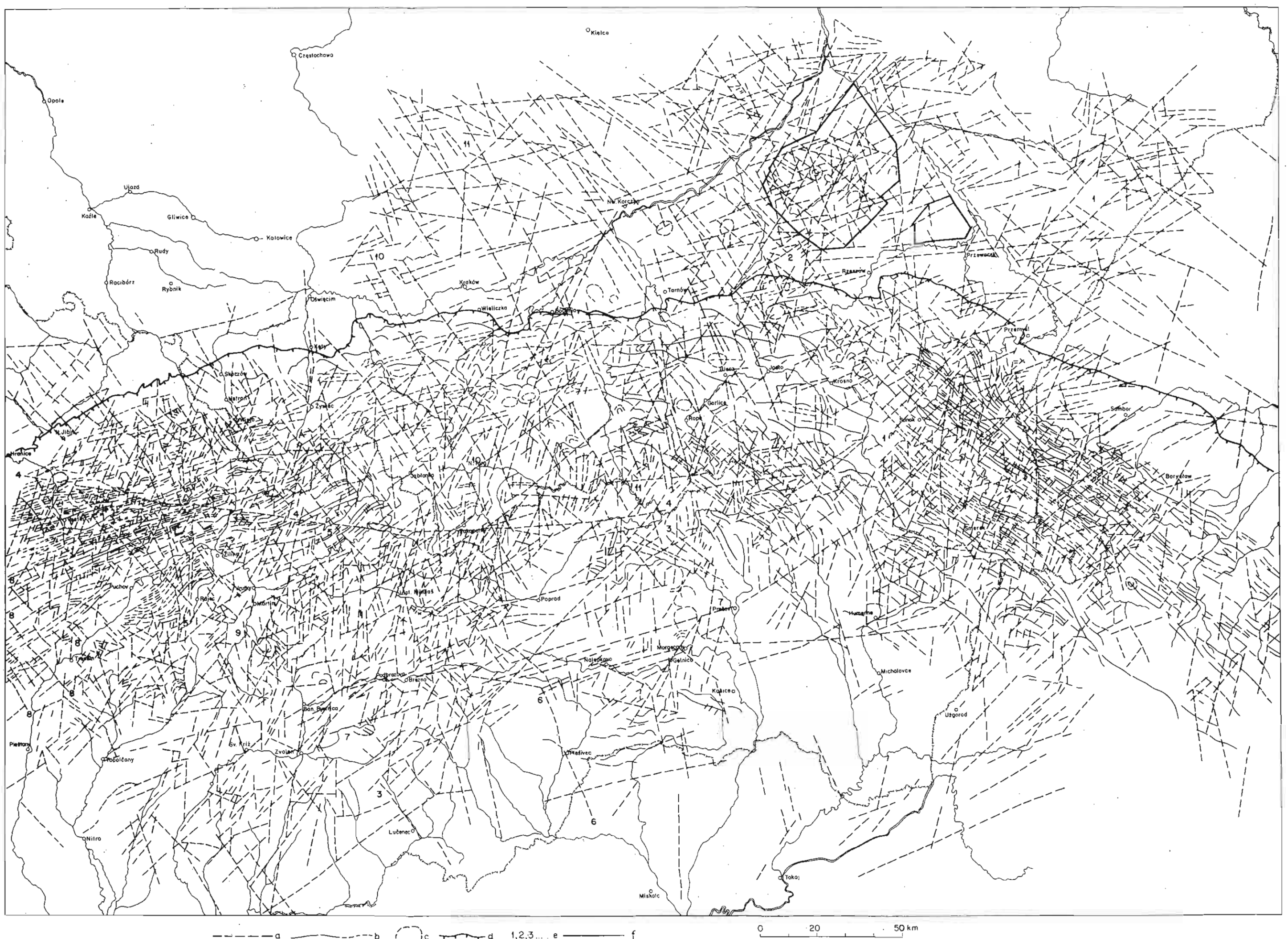


Fig. 3. Fotogeologiczna mapa Karpat zestawiona na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat
 Photogeological map of the Carpathians, compiled on the basis of Landsat imagery
 a – fotolineamenty wskazujące na elementy tektoniki nieciągłej; b – fotolineamenty oznaczające elementy fałdów; c – struktury kołiste; d – granica nasunięcia karpaccyckiego (według S. Sokółowskiego i H. Świdzińskiego, 1958); e – numery fotolineamentów omówionych w tekście; f – regionalne struktury blokowe podkreślone przez fotolineamenty

WYNIKI INTERPRETACJI

Do opracowania wykorzystano w zasadzie mapy przeglądowe w skalach zbliżonych do skali interpretowanych zdjęć satelitarnych, z wyjątkiem kilku ogólnych opracowań na temat geologii tego obszaru. Z tego też względu artykuł winien być traktowany jako próba pokazania możliwości wykorzystania map fotointerpretacyjnych na wstępnym etapie opracowania geologicznego. Jest to również materiał wyjściowy do szczegółowszych dyskusji i wynikających z nich, być może, opracowań w połączeniu z innymi materiałami teledetekcyjnymi (radar, zdjęcia lotnicze). Autorzy wyrażają pogląd i nadzieję, że interpretacja zdjęć satelitarnych może dodatkowo być pomocna w pracach geologicznych na obszarze Karpat.

Już pobieżny rzut oka na mapę fotolineamentów (fig. 3) pozwala zauważyć, że w stosunkowo dużej ilości informacji można wydzielić i pogrupować linie o pewnych wyróżniających się cechach takich jak: kierunek, długość lub forma (prosto- lub krzywoliniowość) czy ciągłość pewnych trendów na znacznych przestrzeniach. Stosując takie kryteria wydzielono kilkanaście głównych linii, w kilku przypadkach odpowiadających znanym strefom tektonicznym, tj.: brzegowi nasunięcia karpackiego i fragmentom nasunięć poszczególnych jednostek, elementom fałdów występujących w obrębie płaszczowin oraz szeregom fotolineamentów, których znaczenie geologiczne nie jest określone jednoznacznie. Kierunek, forma i wzajemny rozkład tych fotolineamentów już w tej fazie interpretacji pozwalają jednak sugerować, że są one uwarunkowane geologicznie, a nawet można próbować określić je jako uskoki, linie nasunięcia czy elementy fałdu.

Na zdjęciach satelitarnych Karpat można wyodrębnić dwa główne typy elementów liniowych, z których pierwszy wiąże się ze strukturami fałdowymi, a drugi z nieciągłościami. W obrębie Karpat zewnętrznych ze względu na regularny przebieg i zagęszczenie fałdów szczególnie wyróżniają się obszary wschodni i zachodni rozdzielone obszarem środkowym. W obszarach wschodnim i zachodnim pasma górskie i doliny odpowiadające przebiegowi fałdów tworzą wąskie, długie i regularne formy przemienne, szczególnie dobrze zobrazowane na zdjęciach satelitarnych (fig. 4, 5). W obszarze środkowym Karpat zewnętrznych natomiast fałdy charakteryzują się nieregularnością oraz brakiem ciągłości form (fig. 6). Na zdjęciach satelitarnych potwierdzają się wszystkie znane kierunki fałdów: karpacki, tatrzański oraz śląski (K. Tołwiński, 1922). Pasma skałkowe widoczne jest fragmentarycznie, prawdopodobnie z powodu braku struktur kontynuujących się na większych przestrzeniach.

Karpaty wewnętrzne wyraźnie różnią się od Karpat zewnętrznych. Wiąże się to z wyraźnie odmienną rzeźbą terenu. W ich budowie struktury typu fałdowego nie są dobrze czytelne ze względu na stopień komplikacji tektonicznych tego obszaru, dużą różnorodność oraz nieregularność. Widoczne są tylko fragmenty nasunięć oraz granice oddzielające obszary występowania skał wulkanicznych i kotliny śródgórskie. Na terenie Zagórza elementy fałdów są mało czytelne, odcinają się natomiast obszary występowania skał wulkanicznych.

Oddzielnego omówienia wymagają fotolineamenty w polskiej części Karpat zewnętrznych. Bardzo wyraźny w wielu miejscach jest fotolineament związany z brzegiem nasunięcia karpackiego. Wydaje się, że na opracowanej mapie fotogeologicznej przebieg jego może być uważany za bardzo dokładny. Nie dało się natomiast prześledzić poszczególnych jednostek płaszczowinowych na całej ich długości. Być może świadczy to jednak o ich nieciągłym przebiegu.

Spośród szeregu fotolineamentów wiele — po skonfrontowaniu z istniejącymi opracowaniami geologicznymi w podobnych skalach — można było zidentyfiko-

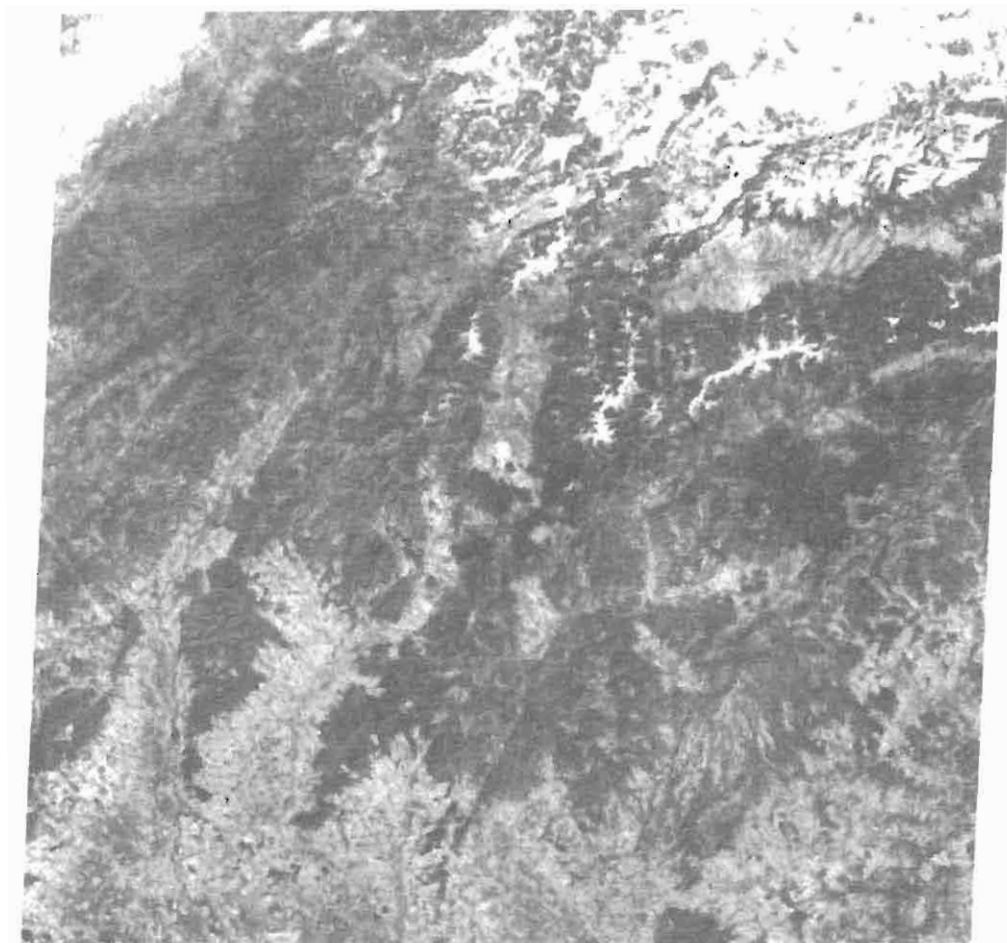


Fig. 4. Zdjęcie satelitarne Landsat 1 wykonane 1.11.1973 r. w Karpatach Zachodnich, pasmo 5, czerwony (0,6–0,7 μm); widoczny na zdjęciach regularny przebieg fałdów; wyraźnie wyróżniają się również masywy Tatr i Małej Fatry

Landsat 1 imagery of the western Carpathians, made on November 1, 1973, band 5, red (0.6–0.7 μm); showing regular course of folds; also note clearly marked massifs of the Tatra Mts and Mała Fatra

wać jako fałdy synklinalne i antyklinalne. Na omawianej mapie bardzo dobrze widoczne są zmiany kierunków „karpackich” na „tatrzańskie” w miejscu występowania fotolineamentu 1. Miejsce to jest bardzo interesujące jeszcze z innego względu. Kierunek karpacki jest bowiem wyraźnie zgodny z jednym z dominujących na przedpołu Karpat kierunków, tj. NW – SE. Dlatego można wnioskować, że płaszczowiny karpackie nasuwały się na obszar ukształtowany przez struktury o kierunku NW – SE i wskutek tego dopasowały się do nich. Również czoła jednostek płaszczowinowych pasują do linii struktur występujących poza obszarem Karpat i przedłużających się w ich obrębie. Mogłoby to świadczyć o różnicowaniu się tego podłoża w trakcie nasuwania się płaszczowin.

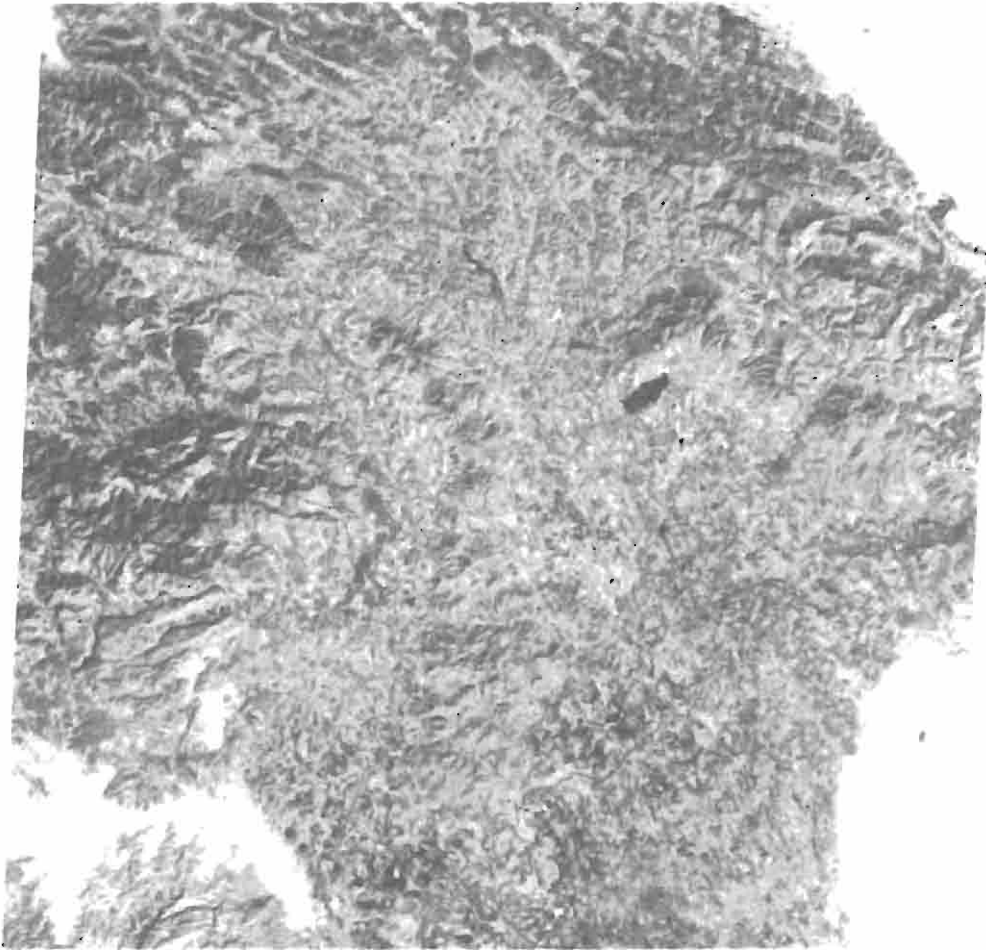


Fig. 5. Zdjęcie satelitarne Landsat 2 wykonane 29.10.1975 r. w Karpatach Wschodnich, pasmo 7, bliska podczerwień (0,8 – 1,1 μm). Widoczny na zdjęciu w północnej części charakterystyczny przebieg fałdów w Bieszczadach. Ku południowi regularne fałdowe struktury przechodzą w obszar Wyżyny Ońdawskiej. Wyraźnie zaznaczają się masywy wylewne Gór Słańskich i Wyhorlatu

Landsat 2 imagery of the eastern Carpathians, made on October 29, 1975, band 7, close infrared (0.8 – 1.1 μm). Note characteristic course of folds in the Bieszczady Range in the north. The regular fold structures pass southwards into the Wyżyna Ondańska Upland. Intrusive massifs of the Góry Słańskie Mts and Wyhorlat are also clearly visible

Analogicznie wygląda sytuacja na obszarze kierunków tatrzańskich, przy czym nadrzędny jest tu kierunek równoleżnikowy.

Fotolineamenty związane w większości z wszelkiego rodzaju nieciągłościami charakteryzują się dużą różnorodnością azymutów i długości. W części wschodniej Karpat przeważają kierunki NW – SE, NE – SW i zbliżone do N – S, natomiast w części centralnej i zachodniej NW – SE oraz ENE – WSW. Szereg elementów odznacza się znacznymi długościami. Często przedłużają się one poza granice Karpat na teren zapadliska oraz grupują się w całe strefy. Wszystko to wskazuje na ich regionalny charakter.

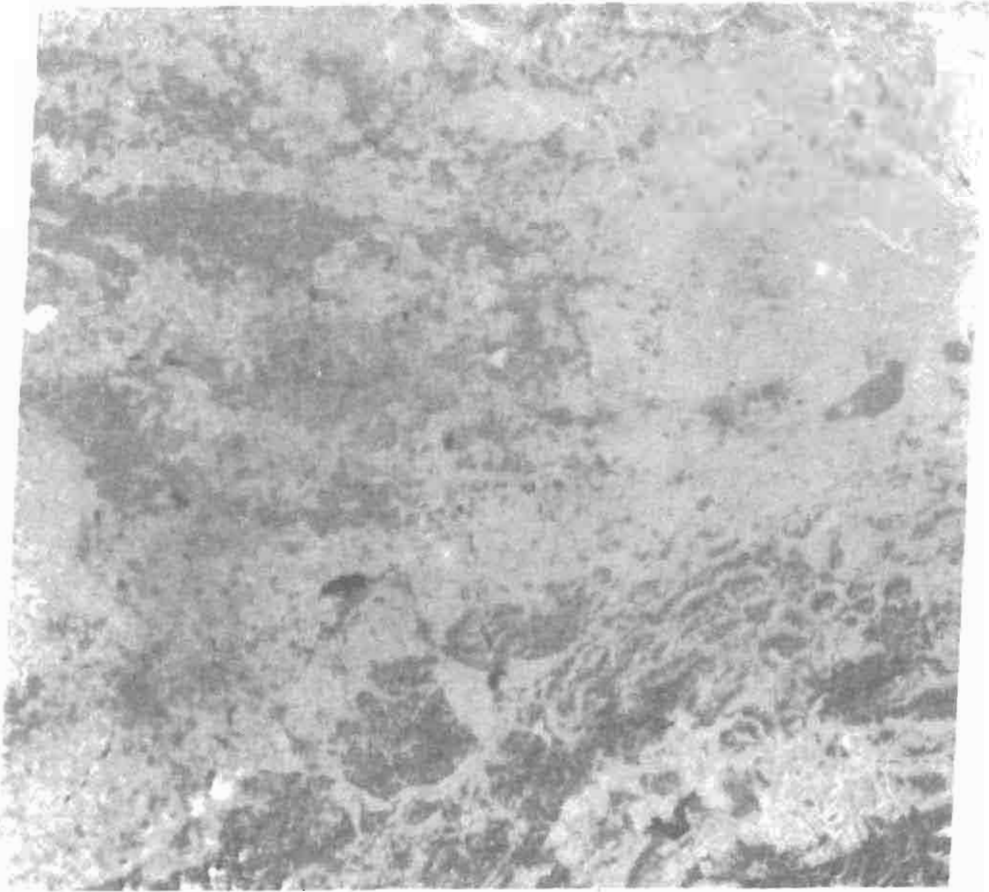


Fig. 6. Zdjęcie satelitarne Landsat 3 wykonane 13.09.1979 r. w Karpatach środkowych między Bramą Morawską i Krakowem. Widoczny brak regularności w przebiegu fałdów. Zaznaczają się struktury brachysynklinalne Beskidu Wyspowego

Landsat 5 imagery of the central Carpathians, between the Moravian Gate and Cracow, made on September 13, 1979. Note irregularities in course of folds and clearly marked brachysynclinal structures of the Beskid Wyspowy Range

Fotolineamenty 12 (fig. 3) wyznaczają fragmenty znanej struktury rowu krzeszowickiego. Ze względu na niewielkie prostoliniowe odcinki i kierunek zbliżony do linii skanera, struktura jest mało czytelna i nie można prześledzić jej w całości. Warto dodać, że jest ona widoczna tylko na obrazach satelitarnych przetworzonych cyfrowo.

Fotolineament 4 – Valasske – Mezirič – Plavec (fig. 3) o przebiegu W–E oddziela Tatry od fliszu podhalańskiego. Nie jest on jednakowo wyraźny na całej długości. Środkowy jego odcinek podkreśla północną granicę Tatr. Na wyrazistość tej granicy zwrócił uwagę S. Ostaficzuk (1975), wyznaczając ją metodą zagęszczonych poziomicy, a także na zdjęciu satelitarnym (S. Ostaficzuk, 1978). Fotolineament ten nie wykazuje zgodności ze skartowanymi dotychczas uskokiemi. Przecina poprzecznie fałdy Magury. Na linii przecięcia dają się zaobserwować sigmoidalne

przemieszczenia fałdów. Ponadto jest on poprzecinany krótkimi fotolineamentami o kierunkach NE – SW i NW – SE.

Fotolineamenty 13 (fig. 3) podkreślające przebieg Wisły na odcinku Zawichost – Niepołomice odpowiadają znanej strefie tektonicznej Kurdwanowa – Zawichostu (W. Teisseyre, 1907). T. Osmólski i in. (1978) wyrazili pogląd, że strefa ta jest pocięta szeregiem uskoków przesuwczych o kierunku NE – SW. Z obserwacjami tych autorów pokrywają się w większości wyniki niniejszej interpretacji, przy czym nie udało się tu jednak wydzielić linii ograniczającej blok Mędrzechowa (T. Osmólski i in., 1978) od południowego wschodu. Obserwacja szeregu fotolineamentów o kierunku NW – SE, krzyżujących się z tą strefą, nasuwa natomiast sugestię, że wiele z nich na linii Kurdwanowa – Zawichostu ulega przerwaniu i nawet możliwemu przesunięciu.

Fotolineament 2 (fig. 3), mający wyraźny związek ze znanymi strefami tektonicznymi, tworzy zespół linii o kierunku NW – SE ciągnących się od Przedborza do Ropczyc. Na odcinku Lasocin – Strzelce odpowiada on strefie dyslokacyjnej (E. Stupnicka, 1972) oddzielającej antyklorium świętokrzyskie od Niecki Nidziańskiej. Charakterystyczne jest jednak, że na terenie Karpat kierunki fałdów przedłużają przebieg lineamentu. Świadczyć to może o wpływie ukształtowania podłoża na przebieg fałdów w tej części Karpat.

Opisane strefy są reprezentatywne dla kierunku NW – SE, jednego z dwóch dominujących na omawianym obszarze.

Drugą przeważającą grupę stanowią fotolineamenty o kierunku NE – SW i zbliżonym do niego. Potwierdza to szereg obserwowanych zjawisk geologicznych, morfologicznych i danych geofizycznych. I tak np. dane geofizyczne zamieszczone na mapie magnetycznej (K. Karaczun i in., 1978) sugerują istnienie jakichś struktur, najprawdopodobniej nieciągłości tektonicznych, na linii fotolineamentów czy raczej grup fotolineamentów. Jest to widoczne szczególnie w przypadku układających się w ciągi grup fotolineamentów: Jaśliśka – Hrubieszów (1 – fig. 3) i Czorzstyn – Dębica – Stalowa Wola (14 – fig. 3).

Najciekawszą i znajdującą najwięcej uzasadnień w różnych materiałach geologicznych i geofizycznych jest strefa fotolineamentów Jaśliśka – Hrubieszów. Zdaniem autorów miała ona decydujący wpływ na ukształtowanie się tektoniki tego obszaru. Ten fragment Karpat szczegółowo opracował B. Świdorski (1952). Fałdy płaszczowiny skolskiej o regularnym przebiegu NW – SE (kierunek karpacki – K. Tołwiński, 1922) skracają gwałtownie ku północy w rejonie Przemyśla (sigmoida przemyska). B. Świdorski uważa, że forma ta powstała w etapie dofałdowań badeńskich i pobadeńskich na skutek pchnięcia wstępnie pofałdowanych płaszczowin ku północnemu wschodowi. Na północny zachód od Przemyśla masy płaszczowinowe, nie znajdując większego oporu, mogły się stosunkowo swobodnie nasuwać, natomiast na południowy wschód od tej linii, napotkawszy przeszkodę w postaci spiętrzonych fałdów płaszczowiny stebnickiej opartych o masyw antyklorium świętokrzysko-dobrużdzkiego, uległy intensywnym sfałdowaniom i złuskowaniom. Powstaje zatem pytanie, jakie czynniki spowodowały zróżnicowanie podłoża nasuwającej się płaszczowiny, dającej w konsekwencji takie zróżnicowanie w intensywności fałdowań, przy zachowaniu kierunku karpackiego na obszarze Karpat przemyskich. Wydaje się, że było to spowodowane (i prawdopodobnie jest ze względu na czytelność fotointerpretacyjną) istnieniem strefy tektonicznej, odpowiadającej przebiegiem grupie lineamentów Jaśliśka – Hrubieszów. Dodatkowym argumentem przemawiającym za znaczeniem tej strefy jest zmiana kierunku karpackiego na tatrzański, z wyjątkiem grupy fałdów na południe od linii Gorlice – Jaśliśka „przesuniętych” na południe, zresztą wzdłuż lineamentu należącego do tej samej grupy.

W.J. Chain (1974) na schematycznej mapie Karpat zaznacza poprzeczny rozłam wglębny, zgodny z przebiegiem tej strefy fotolineamentów.

Inną przesłanką, świadczącą o znaczeniu omawianej tu grupy fotolineamentów, jest fakt, że leży ona na megalineamencie, który można zaobserwować na zdjęciu wykonanym z satelity Meteor (1.07.1980). Megalineament ten, przecinający Karpaty w rejonie sigmoidy przemyskiej, wyraźnie przedłuża się daleko zarówno w kierunku północno-wschodnim, jak i południowo-zachodnim. Zaznacza się on szeregiem fotolineamentów o kierunkach NE–SW zawartych między fotolineamentem Jaśliśka–Hrubieszów (1 – fig. 3) i linią Kurdwanowa–Zawichostu (13 – fig. 3), chociaż wpływ tej strefy nie ogranicza się zapewne do tego obszaru. Te informacje oraz obraz grawimetryczny świadczą, że strefa lineamentów Jaśliśka–Hrubieszów jest powierzchniowym obrazem głębokiego rozłamu, który jest główną przyczyną obrazu geologicznego tej części Karpat.

Na zdjęciach satelitarnych zaznaczają się również dwa regionalne lineamenty o kierunku NW–SE: Nowy Targ–Chrzanów (10 – fig. 3) oraz Nowy Sącz–Proszowice (11 – fig. 3). Na pewnych odcinkach są one podkreślone przez prostoliniowe odcinki dolin rzecznych. Wydają się również powodować zaburzenia przebiegów fałdów w postaci ich sigmoidalnych wygięć oraz raptownych zakłóceń. Ze znanymi uskokami lineamenty pokrywają się jedynie fragmentarycznie. Kierunek ich jest natomiast równoległy do kierunku tzw. rygla krakowskiego (R. Ney, 1968).

Inne wyraźnie zaznaczające się fotolineamenty regionalne, znajdujące uzasadnienie na mapach geologicznych, leżą już poza granicami Polski. Do ważniejszych można zaliczyć:

- fotolineament Plavec–Tisovec–Hor Tisovnik (3 – fig. 3), który w przeważającej części zgadza się ze skartowanymi uskokami oraz kontaktami skał wylewnych; ma on kierunek NE–SW i jest przesunięty równoległe do strefy fotolineamentów Jaśliśka–Hrubieszów;

- fotolineament Małej Fatry (5 – fig. 3), pokrywający się w części zachodniej z uskokami;

- fotolineament rzeki Stitnik (6 – fig. 3), w części północnej odpowiadający znanemu uskokowi;

- zespół fotolineamentów Liskovec–Presov (7 – fig. 3), o kierunku ENE–WSW, nawiązujący do różnych granic litologicznych, m.in. wylewów melafirów oraz bazaltów;

- zespół fotolineamentów Trencin–Gottvaldow (8 – fig. 3), o kierunku NW–SE, nawiązujący do stwierdzonych w pobliżu uskoków; można go traktować jako uściślenie skartowanych uskoków lub zarejestrowane nowe uskoki;

- zespół fotolineamentów obramowujących neogeńską kotlinę rzeki Turlec (9 – fig. 3), w dużej części odpowiadający uskokom.

Na mapie zaznaczono również obszary różniące się od otoczenia szczególną teksturą czy fototonem. Okazuje się, że pokrywają się one w głównych zarysach z granicami oddzielającymi rejony o różnej miąższości miocenu (R. Ney i in., 1974). Może to świadczyć, że bloki związane z obszarami o różnej subsydencji w czasie miocenu zaznaczają się również współcześnie.

Szereg struktur kolistych na mapie ma charakter poligeniczny, geologicznie niejednoznaczny.

Istotną cechą zdjęć satelitarnych Karpat jest niemal całkowity brak możliwości identyfikacji płaszczowin. Trzeba podkreślić, że dysponując wyłącznie zdjęciami satelitarnymi nie byłoby możliwe stwierdzenie tego typu budowy tektonicznej obszaru.

Zakład Fotogeologii
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nadesłano dnia 21 czerwca 1982 r.

PIŚMIENICTWO

- CHAIN W.J. (1974) – Geotektonika ogólna. Wyd. Geol. Warszawa.
- KARACZUN K., KARACZUN M., BILIŃSKA M., UHRYNOWSKA A. (1978) – Mapa magnetyczna Polski. Anomalie składowej pionowej Z pola magnetycznego Ziemi, skala 1:500 000. Inst. Geol. Warszawa.
- NEY R. (1968) – Rola rygła krakowskiego w geologii zapadliska przedkarpackiego i rozmieszczenia złóż ropy i gazu. Pr. Geol. PAN, 45.
- NEY R., BURZEWSKI W., BACHLEDA T., GÓRECKI W., JAKÓBCZAK K., SŁUPCZYŃSKI K. (1974) – Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facjalnego utworów miocenu zapadliska przedkarpackiego. Pr. Geol. PAN, 82.
- OSMÓLSKI T., KRYSIAK Z., WILCZYŃSKI M.S. (1978) – Nowe dane o strefie Kurdwanów – Zawichost i tektonice obszaru od Buska po Nidę i Wisłę. Kwart. Geol., 22, p. 832–850, nr 4.
- OSTAFICZUK S. (1975) – Badania młodych ruchów neotektonicznych metodą zagęszczonych poziomów. W: Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce, 1, p. 77–87.
- OSTAFICZUK S. (1978) – Fotogeologia. Fotointerpretacja i fotogrametria geologiczna. Wyd. Geol. Warszawa.
- STUPNICKA E. (1972) – Tektonika południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 14, p. 20–114.
- SOKOŁOWSKI S., ŚWIDZIŃSKI H. (1958) – Mapa Geologiczna Karpat Polskich. Warszawa.
- ŚWIDERSKI B. (1952) – Z zagadnień tektoniki Karpat północnych. Pr. Państw. Inst. Geol., 8.
- TEISSEYRE W. (1907) – O związku w budowie tektonicznej Karpat i ich przedmurza. Kosmos, 32, p. 393–402.
- TOŁWIŃSKI K. (1922) – Dyslokacje poprzeczne oraz kierunki tektoniczne w Karpatach Polskich. Pr. Geogr., 6, p. 27–47.

Станислав ДОКТУР, Marek ГРАНИЧНЫ

ФОТОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ КАРПАТ

Резюме

В статье представлены результаты фотогеологической интерпретации космических снимков Карпат и Предкарпатского прогиба. Космические снимки оценивались с точки зрения их пригодности для нужд структурной геологии и в первую очередь для локализации тектонических нарушений. В работе обращалось особое внимание на проблемы интерпретации, велись поиски решений, ведущих к оптимальным вариантам интерпретации геологических элементов. Интерпретация базировалась на обширном и разнообразном материале и в первую очередь из космических снимках Landsat. Использовались также различные виды интерпретации, в том числе визуальная, аналоговая и цифровая.

По материалам интерпретации была составлена фотогеологическая карта в масштабе 1 : 500 000. На карте выделен ряд фотолинементов, многие из которых после сравнения с имеющимися геологическими материалами в том же масштабе, можно было считать зонами нарушений, синклиналями и антиклиналями. Многие фотолинементы могут служить для выделения новых тектонических элементов, до сих пор неизвестных. Авторы считают, что результаты интерпретации космических снимков могут явиться дополнительным вспомогательным материалом при геологических работах в Карпатах.

Stanisław DOKTÓR, Marek GRANICZNY

PHOTOGEOLOGICAL ANALYSIS OF SATELLITE IMAGERY OF THE CARPATHIAN MTS

Summary

The usability of satellite imagery in studies on geological structure, especially location of discontinuous tectonic elements, was evaluated. Attention was also paid to some problems connected with methods of interpretation, in search for ways to establish optimum variants in interpretation of geological elements. The interpretation was based on rich and diversified material, mainly comprising LANDSAT imagery, and the used methods included visual, analog and numerical ones.

The results of interpretation are presented in the form of photogeological map in the scale of 1 : 500,000. The map shows photolineaments, several of which appeared identifiable as discontinuity zones and synclinal and anticlinal folds after checking with the available geological maps in similar scales. However, there were also found some other photolineaments which may represent hitherto unknown tectonic elements. We assume that results of interpretation of satellite imagery may represent valuable contribution to geological studies in the Carpathians.