

UKD 550.814:629.783+621.396:528.77(438–13E–Karpaty)

Stanisław DOKTÓR, Marek GRANICZNY

## Geologiczna interpretacja zdjęć satelitarnych i radarowych wschodniej części Karpat

Przedstawiono najważniejsze wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych Landsat oraz radarowych typu TOROS. Na zdjęciach satelitarnych widoczne są kierunki NNE–SSW i ENE–WSW oraz dominujący NE–SW, którego reprezentantem jest strefa fotolineamentów Jaśliśka–Hrubieszów, prawdopodobnie związana z istnieniem głębokiej strefy tektonicznej. Z interpretacji zdjęć radarowych wynika, że dominującymi kierunkami uskoków są NNE–SSW i ENE–WSW, podczas gdy na mapach geologicznych dominują kierunki prostopadłe do przebiegu fałdów. Zwraca uwagę uzupełnienie się obu rodzajów interpretacji oraz celowość kompleksowego wykorzystania zdjęć satelitarnych i radarowych.

### WSTĘP

W 1980 r. w Zakładzie Zdjęć Satelitarnych i Lotniczych IG wykonano opracowanie pt. *Mapa fotolineamentów Karpat polskich i zapadliska przedkarpacciego*. Autorzy zaprezentowali w tym opracowaniu wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych. W tym samym roku przystąpiono do opracowania mapy fotolineamentów w skali 1:200 000 na podstawie otrzymanych wcześniej materiałów radarowych. Wyniki interpretacji i porównanie materiałów satelitarnych z radarowymi zachęciły autorów do przygotowania tego artykułu. Omówiona w nim zostanie wschodnia część Karpat zawarta na arkuszach map Przemyśl i Jasło w skali 1:200 000.

### MATERIAŁY I METODY WYKORZYSTANE DO INTERPRETACJI

Fotogeologiczna analiza omawianego obszaru została przeprowadzona na zdjęciach satelitarnych i radarowych. Interpretacja zdjęć satelitarnych była przede wszystkim wykonywana na materiałach z automatycznych satelitów amerykańskich typu Landsat (fig. 1). Satelity Landsat<sup>1</sup> wykonują skanerowe zdjęcia wielo-

<sup>1</sup> Ten i następnne terminy techniczne w słowniczku na końcu artykułu.

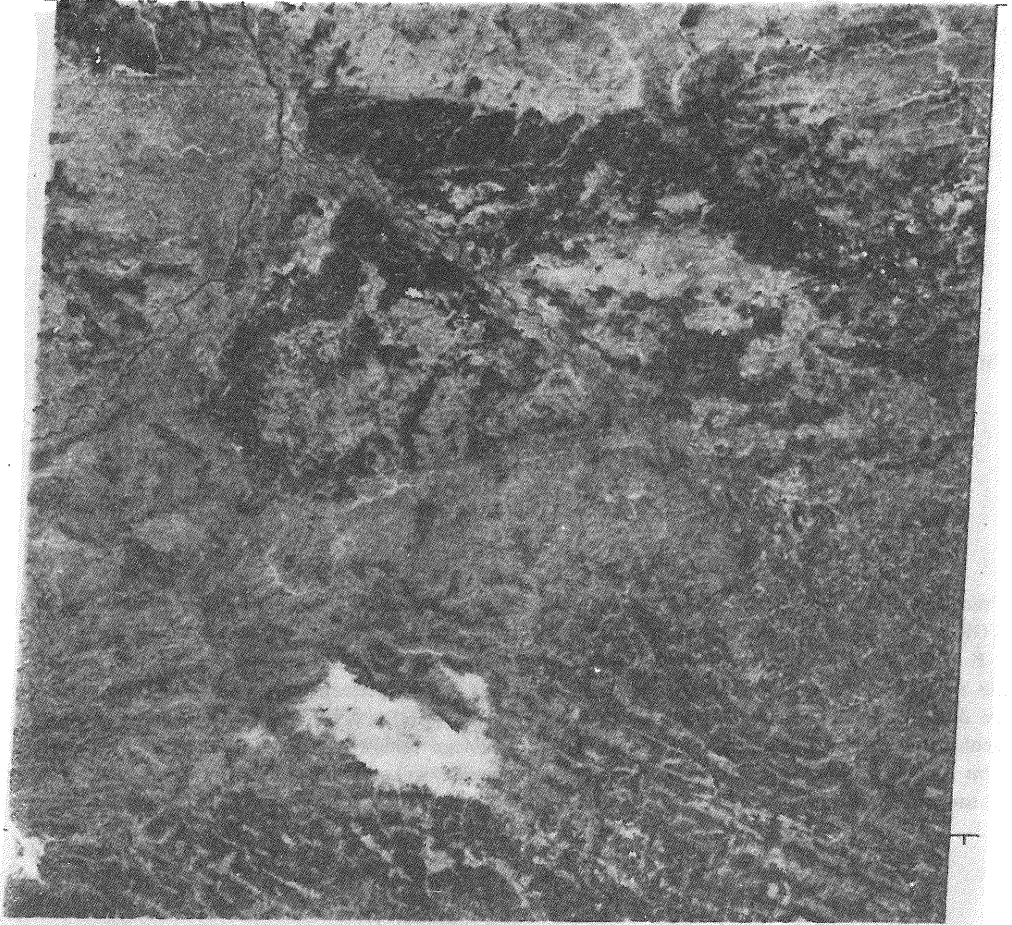


Fig. 1. Zdjęcie satelitarne Landsat 2 (2244–08444), wykonane 23.09.1975 r., wschodniej części Karpat i zapadliska przedkarpackiego; pasmo siódme, bliska podczerwień (0,8–1,1  $\mu\text{m}$ )

Landsat 2 photo (2244–08444) of the area of the Eastern Carpathians and Carpathian Foredeep, taken on Sept, 23, 1975; seventh band, near infrared (0,8–1,1  $\mu\text{m}$ )

spektralne w 4 zakresach widma widzialnego i bliskiej podczerwiieni (0,5–0,6  $\mu\text{m}$ ; 0,6–0,7  $\mu\text{m}$ ; 0,7–0,8  $\mu\text{m}$  i 0,8–1,1  $\mu\text{m}$ ).

Do prac wykorzystano kilkanaście scen wykonanych w różnych okresach roku (maj, czerwiec, lipiec, wrzesień, październik i listopad). Sceny te poddano niezależnej interpretacji. Interpretacja zdjęć powtarzalnych – wykonanych w różnych sezonach, a co za tym idzie przy zmiennym kącie padania promieni słonecznych – miała duże znaczenie z punktu widzenia wiarygodności identyfikacji elementów strukturalnych. Kąt padania promieni słonecznych zdjęć Landsata ma duży wpływ na czytelność cech liniowych, decyduje bowiem o długości cieni rzucanych przez formy rzeźby terenu i oddziałuje na efekt „plastyczności” zdjęcia satelitarnego. Cała grupa fotolineamentów, która jest związana z prostoliniowymi elementami rzeźby terenu, jest znacznie lepiej czytelna na zdjęciach wykonanych jesienią. Ma to zwłaszcza duże znaczenie podczas interpretacji obszarów górskich i podgórszych.

Do interpretacji zdjęć Landsata zastosowano metody interpretacji wizualnej, analogowej i cyfrowej. Metoda wizualna, jako najprostsza i najbardziej dostępna, została przeprowadzona w pierwszym etapie. Objęła ona głównie przegląd standardowych barwnych kompozycji w kolorach nienaturalnych w skali 1:250000. Następnie przystąpiono do interpretacji analogowej – półautomatycznej. Przeprowadzono ją na przeglądarce addytywnej (I<sup>2</sup>S – *International Imaging Systems*), która jest podstawowym urządzeniem umożliwiającym interpretację zdjęć wielospektralnych. Aparatura ta pozwala na jednoczesną projekcję 2–4 wyciągów spektralnych na jeden ekran, na którym następuje nałożenie i synteza poszczególnych obrazów. W ten sposób jest możliwe wybranie optymalnego wariantu kompozycji barwnej, w której analizowane elementy treści zdjęcia są najbardziej czytelne.

Do analizy fotogeologicznej wykorzystano również zdjęcia Landsata przetworzone cyfrowo. Cyfrowa obróbka zdjęć została wykonana w Amerykańskim

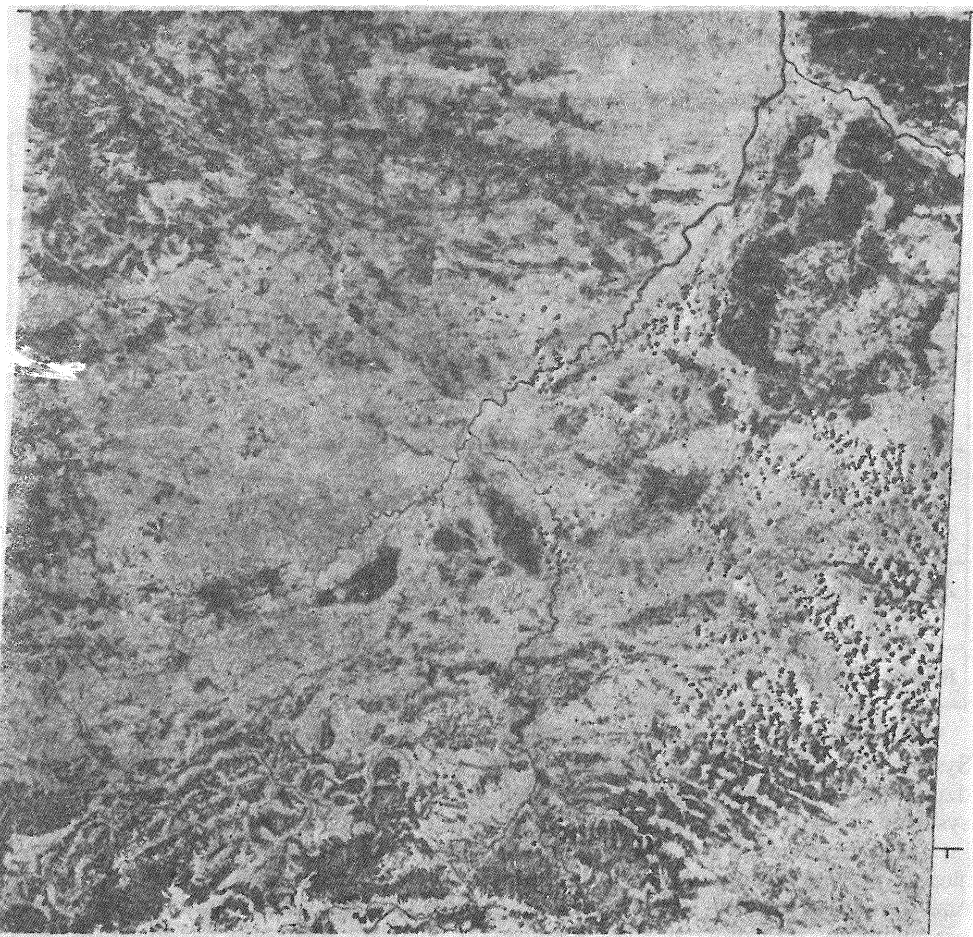


Fig. 2. Zdjęcie satelitarne Landsat 2 (2155–08515), wykonane 26.06.1975 r., obszaru Karpat i zapadliska przedkarpackiego między Krakowem i Rzeszowem; pasmo siódme, bliska podczerwień (0,8–1,1  $\mu\text{m}$ )  
Landsat 2 photo (2155–08515) of the area of the Carpathians and Carpathian Foredeep between Cracow and Rzeszów, taken on June 26, 1975; seventh band, near infrared (0.8–1.1  $\mu\text{m}$ )

Instytucie Geologicznym we Flagstaff. Na drodze tej uzyskano uwypuklenie wielu elementów strukturalnych, niewidocznych na zdjęciach standardowych. Do obróbki cyfrowej zastosowano odpowiednie programy obejmujące m. in. kontrastowanie liniowe i sinusowe oraz „dorobienie” trzeciego nieistniejącego pasma skanera – MSS dla zakresu niebieskiego. W efekcie przetwarzania cyfrowego sceny Landsat 2 wykonanej 26.06.1975 r. – fig. 2 (obejmującej również część Karpat) wykorzystano następujące mutacje zdjęć:

- kompozycję barwną w kolorach nienaturalnych, liniowo kontrastowych pasm 4,5 i 7;
- kompozycję barwną w kolorach nienaturalnych, sinusowo kontrastowych pasm 5, 6 i 7;
- kompozycję barwną „hybrydową” liniowo i sinusowo kontrastowych pasm 5, 6 i 7;
- kompozycję barwną w kolorach pseudonaturalnych.

Na podstawie oceny interpretowanych elementów można śmiało stwierdzić, że drogą cyfrowej obróbki taśmy magnetycznej rozszerzono poziom informacji o 50% w stosunku do kompozycji standardowej.

Tabela 1

Porównanie walorów systemu radarowego TOROS i Landsat

Charakterystyka	TOROS	Landsat
„Oświetlenie” zdjęcia	wartość kąta depresji zmienia się w obrębie zdjęcia (od bliskiego do dalszego zakresu)	wartość kąta padania promieni słonecznych jest stała na całym zdjęciu, zmienia się jedynie w zależności od sezonu
Regionalne pokrycie	zdjęcia mają szerokość 15 km, długość praktycznie nieograniczona (setki km)	każde zdjęcie ma rozmiar 185 × 185 km
Skala	1:200000 – 1:100000	1:1000000 – 1:250000
Zdolność rozdzielcza	30 m	60 × 80 m
Zakres widma	mikrofałe 2,6 cm	widzialny i bliska podczerwień 0,5 – 1,1 μm
Rodzaj działania	aktywny	pasywny

Wykorzystano również pomocnicze zdjęcia satelity radzieckiego Meteor. System ten (podobnie do Landsata) jest wyposażony w skaner wielospektralny działający w 4 analogicznych zakresach widm. Podstawową cechą różniącą oba systemy jest zdolność rozdzielcza: w przypadku Landsata 60–80 m, w przypadku Meteora ponad 1 km. Biorąc ten fakt pod uwagę, na zdjęciach Meteora można śledzić jedynie regionalne „megalineamenty” ciągnące się setki kilometrów. Mogą one świadczyć o zarysach budowy geologicznej w skali kontynentów. Porównanie wyników interpretacji zdjęć Landsata i Meteora wskazało na zbieżność niektórych wyznaczonych kierunków fotolineamentów. W ten sposób wiarygodność i znaczenie geologiczne tych fotolineamentów zostały podwyższone.

Bardzo ważnym etapem analizy fotogeologicznej była interpretacja zdjęć

radarowych. Na obszarze Karpat zdjęcia radarowe zostały wykonane przez przedsiębiorstwo radzieckie, przy zastosowaniu systemu bocznego wybierania – TOROS. System TOROS pracuje w długości fal 2,6 cm, sygnał nadawany i odbierany spolaryzowany jest horyzontalnie. Zdolność rozdzielcza tego systemu wynosi około 30 m. Interpretację przeprowadzono na ulepszonych fotoszkicach w skali 1:100 000. System radarowy wyróżnia się kilkoma cechami, które w bardzo pozytywny sposób oddziałują na czytelność elementów geologicznych. Są to:

– boczny kąt padania wiązki promieni radarowych powodujących podkreślenie efektu „cieniowania” na zdjęciu; fakt ten jest bardzo korzystny z punktu widzenia czytelności uskoku, spękań i elementów fałdowych oraz nasunięć, dlatego też często szereg elementów liniowych jest lepiej widoczny niż na zdjęciach satelitarnych i lotniczych wykonanych pionowo;

– przeglądowość zdjęć radarowych związana ze skalą oraz zdolnością rozdzielczą umożliwia dobrą czytelność struktur geologicznych (widocznych w skali 1:100 000) z równoczesnym pominięciem szczegółów wynikających z pokrywy roślinnej, użytkowania terenu itp.;

– uniwersalność: zdjęcia radarowe mogą być wykonywane w dzień i w nocy, jak również podczas występowania zwartej pokrywy chmur; dzięki temu możliwe było obrazowanie Karpat w okresie wiosennym, gdy pokrywa roślinna jest słaba, co umożliwiło lepszą czytelność informacji geologicznych.

## WYNIKI INTERPRETACJI ZDJĘĆ SATELITARNYCH

Na mapie satelitarnej na obszarach przyległych do Karpat obserwowane są długie strefy lineamentów dające się zidentyfikować jako np. rów krzeszowicki (fig. 3, p. 1), linia Kurdwanowa–Zawichostu (fig. 3, p. 2) czy linia Lasocina–

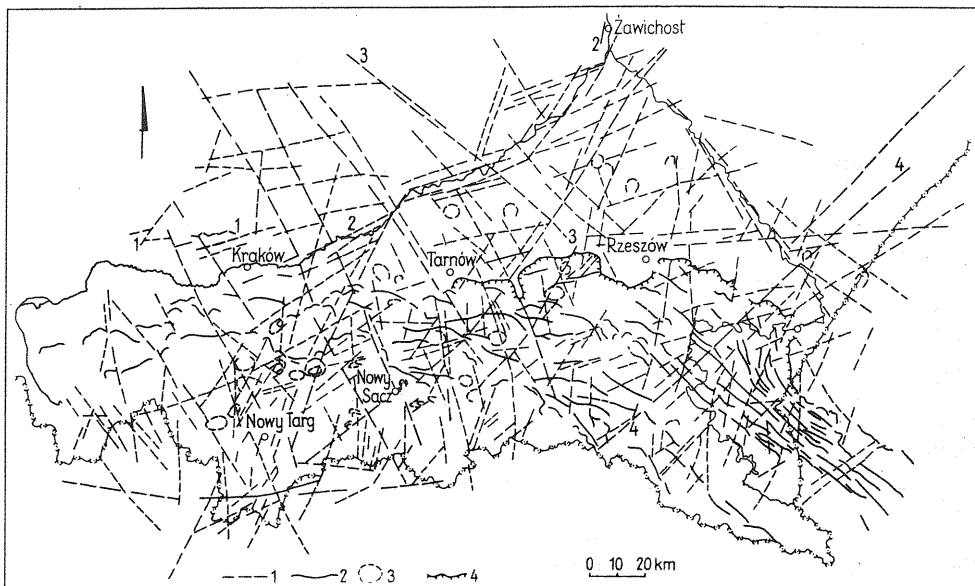


Fig. 3. Satelitarna mapa Karpat polskich i zapadliska przedkarpackiego (uproszczona)

Satellite map of the Polish Carpathians and Carpathian Foredeep (simplified)

1 – fotolineamenty (opisane numerami omówione są w tekście); 2 – fotolineamenty oznaczające elementy fałdów;  
3 – struktury kolistе i półkolistе; 4 – granica nasunięcia płaszczowin karpaccich

1 – photolineaments (those marked with numbers are discussed in text); 2 – photolineaments marking fold elements;  
3 – circular and semi-circular structures; 4 – boundary of overthrust of Carpathian nappes

Strzelec (fig. 3, p. 3). Są to fotolineamenty nie wchodzące na obszar objęty opracowaniem radarowym. Dlatego w niniejszym artykule nie będzie o nich mowy. Zajmiemy się raczej pomniejszymi fotolineamentami, które będzie można porównać. Na zdjęciach satelitarnych rysują się dwie główne grupy fotolineamentów, jedne dają się interpretować jako struktury fałdowe, drugie można wiązać z wszelkiego rodzaju nieciągłościami. Sporadycznie występują również struktury koliste – niejasnego pochodzenia.

A. **S t r u k t u r y f a ł d o w e.** Fotolineamenty im odpowiadające we wschodniej części Karpat mają kształt lekko zafalowany, rzadko prostoliniowy o kierunku NW – SE (fig. 3). Jedyne w rejonie Przemyśla dochodzi do wyraźniejszego wygięcia tych fotolineamentów ku północy. Charakterystyczne jest, iż kierunek fałdów jest równoległy do przedłużenia strefy Lasocin – Strzelec. Czoła nasunięć mają na zdjęciach satelitarnych przebieg nieregularny i najczęściej zbliżony do sąsiadujących struktur fałdowych.

B. **N i e c i ą g ł o ś c i.** Obserwacje fotolineamentów nie dają możliwości określenia rodzaju nieciągłości. Ze względu na skalę i charakter zdjęcia nie da się określić cech determinujących nieciągłość, np. jako uskok. Dlatego wszystkie formy traktujemy równorzędnie. Zdecydowana większość tych fotolineamentów ma kierunek NE – SW lub zbliżony i zgodny z kierunkiem strefy określonej przez autorów jako fotolineament Jaśliska – Hrubieszów (fig. 3, p. 4). Usytuowanie tej formy oraz porównanie z innymi materiałami (zdjęcia satelitarne Meteor, geofizyka) sugerują istnienie wzdłuż tej linii głębokiej strefy tektonicznej warunkującej budowę geologiczną tej części Karpat. Pozostałe fotolineamenty mają przebieg południkowy oraz ENE – WSW. Geneza omawianych fotolineamentów stała się jasna po porównaniu ich z wynikami interpretacji zdjęć radarowych.

Osobno należy wspomnieć o fotolineamencie związanym z brzegiem nasunięcia karpackiego (fig. 3). Wydaje się, że w tej skali wyznaczony przebieg może być uznany za dokładny.

## WYNIKI INTERPRETACJI ZDJĘĆ RADAROWYCH

Materiały radarowe uzyskane przez Zakład Interpretacji Zdjęć Satelitarnych i Lotniczych dostarczyły wielu nowych interesujących informacji o całym obszarze południowej części Polski. Po wstępnym przejrzaniu zdjęć i wykorzystaniu ich w kilku mniejszych opracowaniach okazało się, że materiały te są szczególnie przydatne dla analizy obszarów o zróżnicowanej morfologii.

Karpaty są dobrym przykładem takiego obszaru, gdzie obrazy radarowe mogą dostarczyć dużo nowych informacji geologicznych, szczególnie z tektoniki nieciągłej. Ze względu na specyfikę obrazowania radarowego, dobrze rejestrowane są wszelkie elementy liniowe. Różnicowanie fototonalne, szczególnie o nieostrych konturach, odgrywa dużo mniejszą rolę aniżeli np. na fotografiach lotniczych. Dlatego też głównym przedmiotem analizy w niniejszym opracowaniu będą zjawiska geologiczne o charakterze liniowym. Do nich można zaliczyć: uskoki i spekania przecinające struktury warstwowe, nieciągłości równoległe do osi struktur. ślady uławicenia oraz poszczególne wyróżniające się kompleksy litologiczne zaznaczające się w morfologii, granice litologiczne. Aby znaleźć związek wyinterpretowanych elementów z geologią, wykorzystano mapy geologiczne (J. Burtanówna, S. Sokołowski, 1951; H. Świdziński, 1958; S. Gucik i in., 1979) w skali opracowania 1:200000. Porównanie interpretacji z tymi mapami pozwala wyciągnąć wiele wniosków metodycznych oraz sformułować kilka nowych uwag dotyczących geologii terenu.

Przebieg granicy Karpat wyznaczony na podstawie zdjęć radarowych w większości odpowiada zarysowi na mapie geologicznej. Różnice w zasięgu tej granicy na zachód od Przemysła spowodowane są prawdopodobnie tym, że kompleksy litologiczne tworzące linie morfologiczne występujące w obrębie nasunięcia są wyraźniejsze niż granica Karpat, która na zdjęciu radarowym na ogół zaznacza się bardzo słabo i w większości przypadków poprzez różnice fototonalne. Granica ta rzadko odpowiada wyraźnemu zróżnicowaniu morfologii, co determinuje jej słabą wyrazistość na zdjęciu radarowym. Fotolineamenty o przebiegu równoległym do brzegu nasunięcia karpackiego są prawdopodobnie związane z pofałdowaniem trzeciorzędu na przedpolu Karpat.

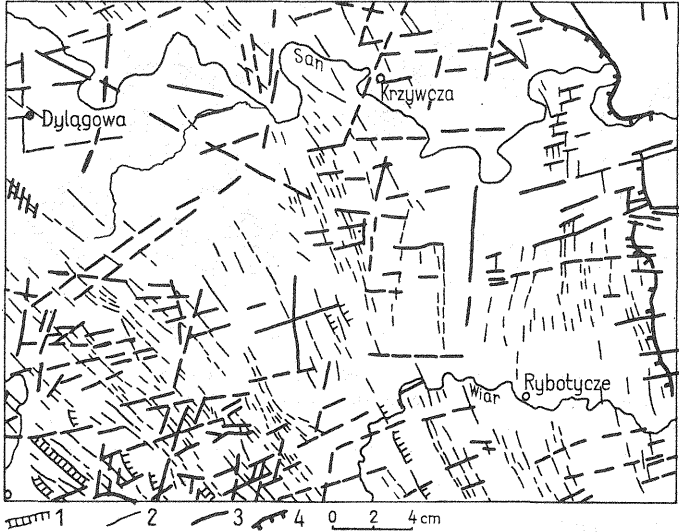


Fig. 4. Radarowa mapa fotointerpretacyjna (fragment ark. Przemysł)

Photointerpretation radar map (fragment of the Przemysł sheet)

- 1 – kompleksy litologiczne; 2 – ślady uławicenia; 3 – fotolineamenty; 4 – granica nasunięcia karpackiego  
 1 – lithological complexes; 2 – traces of bedding; 3 – photolineaments; 4 – boundary of Carpathian overthrust

Następnym spostrzeżeniem jest zgodność fotolineamentów odpowiadających liniom morfologicznym (grzbietom, śladom uławicenia itp.) z przebiegiem fałdów na mapie geologicznej. Przy tym więcej szczegółów widać na obszarach, gdzie występują piaskowce z przelawieniami łupków, szczególnie piaskowce w pakietach o dużej miąższości. Czytelność na obszarze występowania łupków jest znacznie mniejsza.

Najlepiej czytelne na interpretowanym obszarze są linie nieciągłości, których interpretacja jest najużyteczniejsza przy reambulacji map geologicznych. Przy kartowaniu geologicznym obszarów takich jak Karpaty, najtrudniejsza jest lokalizacja, a często i rejestracja większych elementów tektoniki nieciągłej. Obraz radarowy podkreślający cechy liniowe wybitnie ułatwia rozpoznawanie tektoniki nieciągłej. Z tych powodów prawdopodobnie wynikają różnice między zaznaczonymi kierunkami uskoków na mapie geologicznej i radarowej (fig. 5). Uskoki zaznaczone na mapie geologicznej mają przeważnie przebieg w przybliżeniu prostopadły lub lekko skośny do przebiegu struktur fałdowych. Z małymi wyjątkami takiego kierunku na zdjęciach radarowych nie można zaobserwować. Dominujące są kierunki ukośne do osi fałdów, najczęściej występujące w systemie dwóch

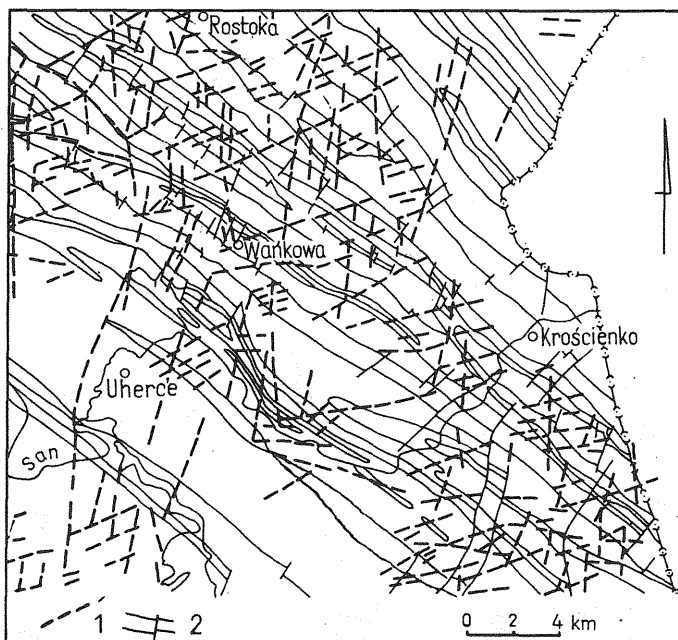


Fig. 5. Fotolineamenty radarowe na uproszczonej mapie geologicznej

Radar photolineaments at the background of simplified geological map

1 – fotolineamenty radarowe; 2 – granice stratygraficzne i uskoki (wg S. Gucika i in., 1979)

1 – radar photolineaments; 2 – stratigraphic boundaries and faults (after S. Gucik and others, 1979)

nieciągłości krzyżujących się pod kątami od 50 do 60°. Symetryczność tych linii i ich stosunek do struktur fałdowych pozwala interpretować je jako system komplementarnych ścięć, związanych z nasunięciem czy też z dofałdowaniem płaszczowin. Nieciągłości te mają – jak wynika ze szczegółowych obserwacji mapy interpretacyjnej – charakter zarówno spękań, jak i uskoków. Ścisłe określenie charakteru każdej z tych nieciągłości jest niemożliwe, chociażby ze względu na skalę i zdolność rozdzielczą zdjęcia radarowego. Przesunięcia kilkumetrowe mogą być w tej skali niewidoczne.

Innym zagadnieniem pozwalającym na wnioski tektoniczne ogólniejszej natury jest rozkład i zagęszczenie fotolineamentów. Nagromadzenie fotolineamentów występuje nierównomiernie i związane jest z obszarami szczególnie silnie sfałdowanymi. Jak wynika z przekroju dołączonego do mapy geologicznej 1 : 200 000, ark. Przemysł, szczególnie intensywną tektonikę fałdową i nieciągłą na SW od linii Dynów, Leszczawa Dolna, Grąziowa (fig. 6) można wiązać z występującym w podłożu stopniem morfologicznym. Wydaje się, że występowanie w podłożu takiego stopnia mogło stanowić dodatkową przeszkodę na drodze nasuwających się płaszczowin, powodującą obserwowane obecnie szczególne natężenie zjawisk tektonicznych.

Podobnie intensywną czy może raczej lepiej czytelną tektonikę można zaobserwować w bardzo wielu miejscach interpretowanego terenu. O ile jednak nagromadzenie fotolineamentów, np. linii Olszany – Grzegorzówka (fig. 6), można jeszcze wiązać z ukształtowaniem podłoża (S. Gucik i in., 1979), o tyle szereg podobnych zjawisk obserwowanych na obszarze objętym arkuszami Jasło i Przemysł



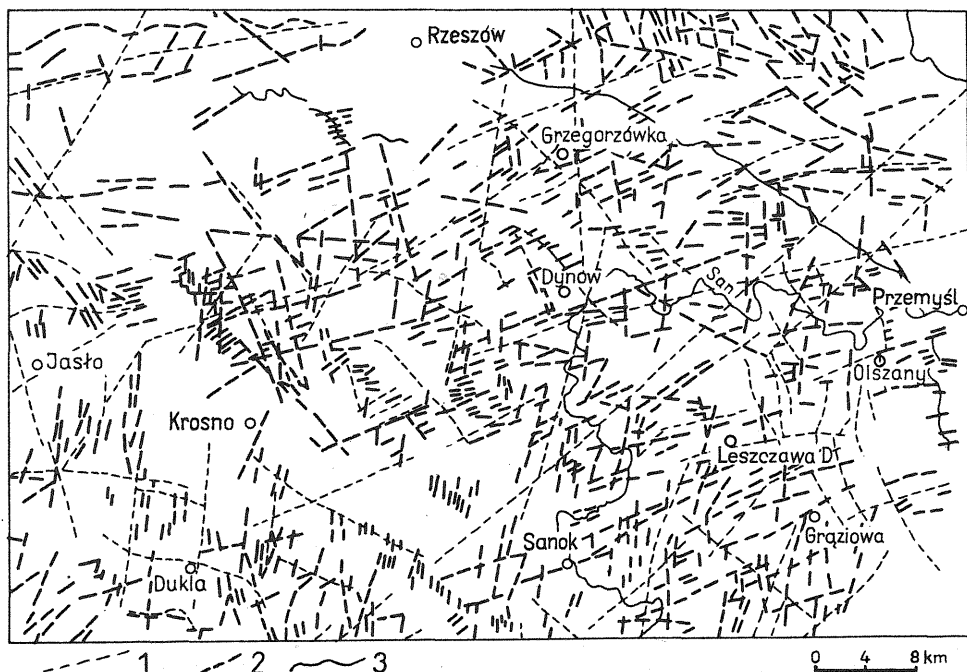


Fig. 6. Mapa fotolineamentów satelitarnych i radarowych wschodniej części Karpat (uproszczona)

Map of satellite and radar photolineaments in the eastern part of the Carpathians (simplified)

1 – fotolineamenty satelitarne; 2 – fotolineamenty radarowe; 3 – brzeg Karpat

1 – satellite photolineaments; 2 – radar photolineaments; 3 – margin of the Carpathians

nie znajduje jednoznacznego wytłumaczenia. Można jednak sądzić, że do ich powstania prawdopodobnie przyczyniło się ukształtowanie podłoża. W związku z powszechnym występowaniem nieciągłości należy także przypuszczać, że wiele zjawisk tłumaczonych dotychczas tektoniką fałdową powstało wskutek wybitnego udziału tektoniki dysjunktywnej. Dobrym przykładem jest tutaj zaznaczony na mapie stosunek fałdów (Tyrawy Dolnej i Wańkowej Wsi) potraktowanych jako dwa fałdy antyklinalne oddzielone od siebie strefą synklinalną w rejonie Tyrawy Wołoskiej. Na przekroju zinterpretowano je jako dwa złuskowane fałdy. Natomiast z interpretacji zdjęć radarowych wynika, że oba fałdy są w istocie jedną strukturą zdyslokowaną wskutek dominującego udziału tektoniki nieciągłej (fig. 7). Właśnie tektonika nieciągła powoduje, że cały obszar od Mrzygłodu do Wańkowej Wsi jest bardzo skomplikowany tektonicznie, tworzy szereg bloków i odporniejszych warstw otoczonych przez mniej odporne i bardziej plastyczne ławice łupków. Wydaje się, że takich przykładów przy dokładniejszej analizie (w większej skali) można by odnaleźć więcej.

Ciekawą formą tektoniki nieciągłej jest układanie się poszczególnych fotolineamentów w ciągi niekiedy kilkudziesięciokilometrowe, przeważnie prostolinijne. Wprawdzie bardzo rzadko zdarza się bezpośrednia łączność poszczególnych odcinków fotolineamentów, ale ogólnie nie ma wątpliwości, iż są to strefy uporządkowane wzdłuż jednego trendu regionalnego. Kierunek tych stref, zgodny z przebiegiem krótkich wchodzących w ich skład fotolineamentów, zmienia się od południkowego w zachodniej części, na arkuszu Jasło, do NE–SW na arkuszu Przemysł (fig. 4).

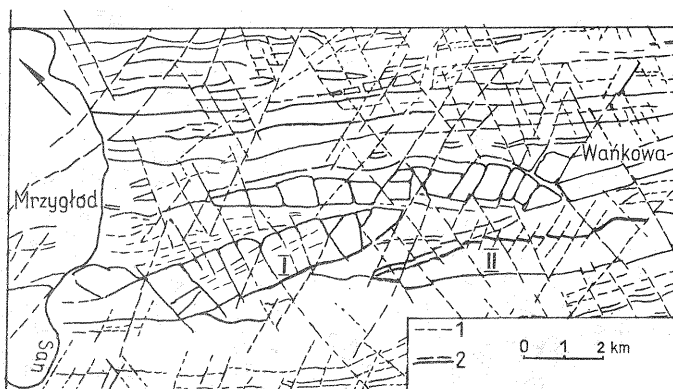


Fig. 7. Fotointerpretacyjny schemat tektoniczny okolic Tyrawy Solnej

Photointerpretational tectonic scheme of the vicinities of Tyrawa Solna

1 – fotolineamenty; 2 – granice litologiczne; I – fałd Tyrawy Solnej; II – fałd Wańkowej wsi

1 – photolineaments; 2 – lithological boundaries; I – Tyrawa Solna fold; II – Wańkowa Wieś fold

Biorąc pod uwagę bogatą morfologię opisywanego obszaru, przebieg fotolineamentów, który jest intersekcyjnym obrazem nieciągłości, może świadczyć, że na interpretowanym terenie dominują nieciągłości o upadach zbliżonych do pionowych. Warto na to zwrócić uwagę, ponieważ na zdjęciach radarowych stwierdzono również nieciągłości o płaszczyznach dużo mniej stromych. Rysują się one jako fotolineamenty o przebiegu mniej regularnym i w sposób widoczny uzależnionym od morfologii.

Te spostrzeżenia wyczerpują w zasadzie możliwości interpretacji zdjęć radarowych w skali 1:200 000. Dokładność podkładu topograficznego oraz fakt wykonania interpretacji na fotoszkicu radarowym, który jest materiałem zdecydowanie gorszym od diapozytywów, determinuje stopień przydatności tego opracowania. Dlatego też dokładne porównywanie z materiałami geologicznymi czy reambulacja szczegółowych map geologicznych mijałaby się z celem. Wydaje się natomiast, że wykonanie interpretacji z diapozytywów radarowych bezpośrednio na podkładach topograficznych w skali 1:50 000 da materiały, które, prócz dostarczenia nowych faktów pozwalających na szersze opracowanie geologii, będą bardzo dobre dla opracowań kartograficznych, szczególnie dotyczących tektoniki Karpat.

## PORÓWNANIE WYNIKÓW INTERPRETACJI NA ZDJĘCIACH SATELITARNYCH I RADAROWYCH

Dobra czytelność obszaru – zarówno na materiałach satelitarnych, jak i radarowych – umożliwiła uzyskanie w obu przypadkach takiej ilości informacji, która upoważnia do wyciągnięcia szeregu wniosków szczegółowych i bardziej ogólnej natury.

Aby ułatwić porównanie tych materiałów, naniesiono interpretację zdjęć satelitarnych na fotointerpretacyjną mapę radarową w skali 1:200 000 (fig. 6).

Pierwszym wnioskiem nasuwającym się po porównaniu obu interpretacji jest duża zgodność wyinterpretowanych struktur fałdowych (oznaczonych jako „przebieg struktur fałdowych”) na mapie satelitarnej z przebiegiem kompleksów litostratygraficznych, zaznaczonych na mapie radarowej. Niekiedy jednak można zaobserwować zjawisko wynikające z generalizacji na zdjęciach satelitarnych,

a mianowicie, że przebieg niektórych form uznanych za fałdy jest w istocie wypadkową lub sumą dwóch sąsiednich fałdów, a w końcowym przypadku – fotolineamentu wyznaczającego przebieg fałdu z przecinającym go fotolineamentem wyznaczającym linię nieciągłości. Ogólnie jednak należy stwierdzić, że w przypadku elementów fałdowych zarówno zdjęcia satelitarne, jak i radarowe dosyć wiernie oddają charakter i styl budowy obszaru. Szczególnie jest to dobrze widoczne w rejonie sigmoidy przemyskiej. Na zdjęciu satelitarnym widać wyraźne zakłócenie przebiegu równoległych fałdów i odgięcia ich ku południowi. Na zdjęciu radarowym natomiast można dokonać szczegółowej analizy. Widoczne są poszczególne kompleksy litologiczne, a w miejscach gdzie zmieniają one kierunek można zaobserwować, że pasma te są porozrywane i porozsuwane. Charakterystyczny, pasmowy styl budowy tej części Karpat, jak z tego widać, jest szczególnie korzystny dla interpretacji na obu rodzajach materiałów.

Dużą zgodność zauważa się również między nieciągłościami satelitarnymi i radarowymi (fig. 6). Występuje tu prawidłowość podobna do obserwowanej przy strukturach fałdowych. Cały szereg fotolineamentów ma przebieg zgodny na obu rodzajach materiałów. W wielu przypadkach zespoły krótkich fotolineamentów radarowych są zbieżne z długim fotolineamentem satelitarnym. Jest to prawdopodobnie związane z różnicami w charakterze obrazowania satelitarnego i radarowego. Ponieważ radar rejestruje nawet najdrobniejsze załamania terenu ( $1/2\lambda$ ), dlatego uprzywilejowane są na obszarze elementy liniowe, nawet o niewielkich deniwelacjach. Małą szansę odwzorowania mają natomiast elementy liniowe nie zaznaczające się w morfologii, a różniące się od otaczających obszarów roślinnością, barwą czy mikrorelieфом, które to komponenty mają wybitny wpływ na obecność fotolineamentów na zdjęciach satelitarnych. W ten sam sposób można również zinterpretować fotolineamenty satelitarne, które uzupełniają interpretację zdjęć radarowych, stanowiące często kierunek komplementarny do fotolineamentu radarowego.

Niejednokrotnie obserwowanym zjawiskiem, szczególnie w odniesieniu do dłuższych fotolineamentów satelitarnych, jest ich równoległość do stref fotolineamentów radarowych. Przy tym fotolineamenty radarowe często nie leżą ściśle w azymucie fotolineamentu satelitarnego. W tym przypadku wydaje się, że wystarczającym wytłumaczeniem jest generalizacja zjawisk na obrazie satelitarnym. Oddzielnego omówienia wymaga walny fotolineament Jaśliska–Wietlin, który jest częścią fotolineamentu Jaśliska–Hrubieszów, odzwierciedlającego głęboką strefę tektoniczną warunkującą wiele zjawisk geologicznych obserwowanych na powierzchni (m. in. miałyby z nim związek sigmoidy przemyskiej). Obraz radarowy pośrednio potwierdza to przypuszczenie. Rzeczywiście na mapie radarowej widoczny jest szereg fotolineamentów równoległych, wchodzących w skład tej strefy, a z drugiej strony fotolineament znajduje potwierdzenie w innych zjawiskach, takich jak: zagęszczenie drobnych fotolineamentów radarowych, załamanie lub przerwanie ciągłości kompleksów litologicznych, przebieg odcinków dolin, czy wręcz układania się poszczególnych krótkich fotolineamentów radarowych wzdłuż głównego fotolineamentu satelitarnego. Trzeba jednocześnie zaznaczyć, że żaden z tych krótkich fotolineamentów nie ma azymutu odpowiadającego głównej strefie.

Reasumując, należy podkreślić dużą zgodność interpretacji materiałów uzyskanych z obu metod, a z drugiej strony pewną komplementarność pozwalającą uzyskiwać maksimum informacji dopiero po ich łącznym wykorzystaniu.

SŁOWNICZEK WYBRANYCH HASEŁ Z ZAKRESU TELEDETEKCJI  
(terminy angielskie kursywą)

**Aktywny system**, *active system* – system teledetekcyjny, który posiada własne źródło energii i dokonuje pomiaru energii odbitej (np. radar).

**Azymut** (radarowy), *azimuth* – kierunek nalotu podczas wykonywania zdjęcia.

**Cień** (radarowy) *shadow* – obszar na zdjęciu charakteryzujący się brakiem energii mikrofalowej; fakt ten spowodowany jest zróżnicowaniem rzeźby terenu, wpływa korzystnie na interpretację geologiczną.

**Elewacja** (słońca), *sun elevation* – nachylenie słońca do horyzontu (kąt padania promieni słonecznych).

**Kąt depresji** (radarowy), *depression angle* – kąt pomiędzy płaszczyzną poziomą a linią łączącą antenę radarową z obrazowanym elementem powierzchni terenu.

**Kąt padania** (radarowy), *incidence angle* – kąt pomiędzy płaszczyzną prostopadłą (do powierzchni terenu) oraz linią łączącą antenę radarową z obrazowanym elementem powierzchni terenu.

**Kierunek wybierania** (radarowy), *look direction*, nazywany również kierunkiem zasięgu (*range direction*) – kierunek, w którym jest transmitowane promieniowanie mikrofalowe, zazwyczaj prostopadły do linii lotu samolotu bądź satelity.

**Landsat** – automatyczne satelity, których głównym zadaniem jest rejestracja promieniowania odbitego w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni. Landsat 1 został wystrzelony w lipcu 1972 r., Landsat 2 w styczniu 1975 r. i Landsat 3 w marcu 1978 r.; w chwili obecnej (VI. 1981 r.) działa jedynie ostatni z wymienionych satelitów; zdolność rozdzielcza systemu  $60 \times 80$  m.

**Meteor** – automatyczne satelity zaopatrzone w skaner wielospektralny pracujący w czterech przedziałach widma (analogicznych do pasm Landsata); zdolność rozdzielcza systemu około 1 km.

**Mikrofała**, *microwave* – zakres fal elektromagnetycznych w przedziale 1 mm – 1 m.

**Pasma**, *band* – przedział widma elektromagnetycznego, którego granice są określone długościami fal lub częstotliwością. Pasma stosowane w radarze były oznaczane symbolami literowymi ze względu na tajemnicę wojskową. Od szeregu lat zostało to uchylone, ale symbole te można jeszcze napotkać w literaturze. Pasma L odpowiada zakresowi 15–30 cm, X od 2,40 do 3,75 cm i K od 0,75 do 2,40 cm. Pasma stosowane w Landsacie są oznaczone od 1 do 7. Pasma 1–3 były zarezerwowane w dwóch pierwszych Landsatach dla zespołu kamer telewizyjnych (RBV). System ten został zastąpiony w trzecim Landsacie jedną kamerą telewizyjną pracującą w szerokim zakresie widma (widzialnego). Pasma od czwartego do siódmego używane w Landsatach 1, 2 i 3 odpowiadają zakresom skanera wielospektralnego (MSS) rejestrującego promieniowanie odbite. Pasma czwarte zielone 0,5–0,6  $\mu\text{m}$ , 5 czerwone 0,6–0,7  $\mu\text{m}$ , 6 w bliskiej podczerwieni 0,7–0,8  $\mu\text{m}$ , i 7 w bliskiej podczerwieni 0,8–1,1  $\mu\text{m}$ . Na Landsacie 3 zainstalowano dodatkowo urządzenie rejestrujące obraz w paśmie ósmym w zakresie widma 10,4–12,5  $\mu\text{m}$ .

**Pasywny system**, *passive system* – system teledetekcyjny dokonujący pomiaru odbicia (albedo), emisji lub promieniowania energii naturalnej.

**Radar z aperturą rzeczywistą**, *real – aperture radar* – system boczego wybierania, w którym przy zadanej długości fali zdolność rozdzielcza w kierunku azymutu jest określana przez długość anteny radarowej. W kierunku zasięgu zdolność rozdzielcza jest zmienna. TOROS jest systemem radarowym z aperturą rzeczywistą.

**Radar z aperturą syntetyczną**, *synthetic – aperture radar* – system boczego wybierania, który wykorzystuje zasadę Dopplera do zaostrzenia efektywnej szerokości wiązki radarowej emitowanej przez antenę. Rezultatem tego zabiegu jest zwiększenie zdolności rozdzielczej w kierunku azymutu i stała wartość zdolności rozdzielczej w kierunku zasięgu. Odbite od powierzchni terenu sygnały radarowe są utrwalane na taśmie lub na filmie i przetwarzane optycznie bądź cyfrowo do postaci obrazów radarowych.

**Satelita synchroniczny ze słońcem**, *sun – synchronous satellite* – satelita którego orbita jest tak zaprogramowana, aby zawsze przecinał równik w tym samym czasie lokalnym (np. Landsat).

**S e a s a t** – satelita przeznaczony do obserwacji mórz i oceanów, wyposażony w 5 systemów pozyskiwania danych, między innymi radar. Satelita został wyrzuty w czerwcu 1978 r., zakończył działalność w październiku 1978 r.

**S k a n e r w i e l o s p e k t r a l n y**, *MSS multispectral scanner* – optyczno-mechaniczny system obrazujący (umieszczony na pokładzie samolotu lub satelity), który przy pomocy wirującego lub oscylującego układu zwierciadeł oraz detektorów przeszukuje teren linia po linii. Skaner wielospektralny rejestruje obrazy w kilku zakresach jednocześnie.

**S y g n a ł p o w r o t n y r a d a r o w y**, *backscatter radar* – część transmitowanej energii mikrofalowej, która powraca do anteny i tworzy obraz radarowy.

**Z a s i ę g r a d a r o w y**, *range* – kierunek poprzeczny do kierunku nalotu wykonania zdjęcia.

**Z b o c z e n a c h y l o n e d o a n t e n y** (radar), *foreslope* – zbocze, które jest nachylone w kierunku padającej wiązki radarowej.

**Z b o c z e o d w r ó c o n e o d a n t e n y** (radar), *backslope* – zbocze, które jest nachylone w kierunku odwrotnym do kąta padania wiązki radarowej.

**Z d o l n o ść r o z d z i e l c z ą t e r e n o w a**, *ground resolution* – najmniejsze odległości pomiędzy dwoma przyległymi obiektami na powierzchni lub minimalna wielkość obiektu terenu, który może być rozróżniony przez system teledetekcyjny.

Zakład Fotogeologii  
Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
Nadesłano dnia 11 sierpnia 1981 r.

#### PIŚMIENNICTWO

- BAŻYŃSKI J., DOKTÓR S., GRANICZNY M. (praca w druku) – Wstępna analiza fotogeologiczna zdjęć satelitarnych obszaru Karpat i zapadliska przedkarpackiego. Biul. Inst. Geol.
- BURTANÓWNA J., SOKOŁOWSKI S. (1951) – Mapa tektoniczna Karpat Północnych 1:500 000 wyk. na podst. pracy Bohdana Świderskiego pt.: Z zagadnień tektoniki Karpat Północnych. Arch. Inst. Geol. Warszawa.
- GUCIK S., PAUL Z., ŚLĄCZKA A., ŻYTKO K. (1979) – Mapa Geologiczna Polski (bez utworów czwartorzędowych 1:200 000, ark. Przemyśl, Kalników. Inst. Geol. Warszawa.
- ŚWIDZIŃSKI H. (1958) – Mapa geologiczna Karpat Polskich (część wschodnia) 1:200 000. Inst. Geol. Warszawa.

Станислав ДОКТУР, Марек ГРАНИЧНЫ

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СНИМКОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАРПАТ

### Резюме

Фотогеологический анализ восточной части Карпат, выполненный по космическим и радиолокационным снимкам, принёс новые данные и о геологии и касающиеся методов интерпретации. Интерпретировались материалы, характеризующиеся разным диапазоном электромагнитного спектра и разделяющей способностью систем привлечения данных. Для интерпретации был использован аналоговый метод в том числе аддитивная браковочная машина и космические снимки, обработанные с применением цифровой техники. Обращается внимание на то, что радиолокационные снимки системы „Торос” оказались весьма пригодными в условиях горных территорий, ввиду небольшого угла падения локаторных лучей и их обзорности. Решающее большинство элементов различных на космических и радиолокационных снимках можно отнести к тектоническим нарушениям. На космических снимках структурные элементы вырисовываются в виде фотолинейных форм, по которым можно распознать главные зоны нарушений. И всё-таки по наблюдениям фотолинейных элементов на космических снимках невозможно определить характер нарушений. На космических снимках видна ССВ—ЮЮЗ и ВСВ—ЗЮЗ и преобладающая СВ—ЮЗ направленность фотолинейных элементов, например, зоны Яслика—Грубешов, которая вероятно обусловлена глубокой тектонической зоной. Из интерпретации радиолокационных снимков следует, что преобладают сбросы ССВ—ЮЮЗ и ВСВ—ЗЮЗ простираются, тогда как на геологических картах преобладают направления, перпендикулярные к простираению складок. Так же как и в случае нарушений иные линейные элементы также чётко читаются на радиолокационных снимках. Всё это позволило предпринять попытку интерпретации геологических явлений на примере складок Тыравы Сольной и Ваньковой. Подчёркивается большое совпадение линейных элементов на радиолокационных и космических снимках. Обращено также внимание на то, что оба вида интерпретации дополняют друг друга и указывается на целесообразность комплексного использования получаемых материалов.

Stanisław DOKTÓR, Marek GRANICZNY

## GEOLOGICAL INTERPRETATION OF SATELLITE AND RADAR IMAGERY OF THE EASTERN PART OF THE CARPATHIANS

### Summary

Photogeological analysis of satellite and radar imagery for the eastern part of the Carpathians gave some valuable data concerning both geological structure and methods of interpretation. The analysis was carried out on differentiated material, characterized by different ranges of electromagnetic spectrum and dissolution power of data retrieval systems. Here were used analog methods, including additive viewer, as well as satellite photos after numerical treatment. Attention is paid to the fact that radar photos of the TOROS system appeared highly useful in mountain areas thanks to low angle of falling of radar rays and their clearness. The majority of elements visible in satellite and radar photos may be related to the effects of disjunctive tectonics. In satellite photos, structural elements are visible as photolineaments, on the basis of which major discontinuity zones may be traced. However, the studies on photolineaments in satellite photos can not solve the question of

nature of a discontinuity. The photos display directions NNE–SSW, ENE–WSW, and predominating NE–SW, which is represented by the Jaśliska–Hrubieszów photolineament zone, presumably related to the presence of a deep tectonic zone. The interpretation of radar photos showed predominance of NNE–SSW and ENE–WSW oriented faults whereas directions normal to fold axes predominate in geological maps. Similarly as in the case of discontinuities, other linear phenomena are clearly accentuated in radar photos. This made possible an attempt to carry out an alternative interpretation of geological phenomena at the example of the Tyrawa Solna and Wańkowa Wieś folds. The radar and satellite photolineaments are found to be markedly consistent. The two types of interpretation greatly complement one another so the complex use of remote sensing materials appears very purposeful.