

Geologiczna analiza zdjęć satelitarnych metodą pokryć wielokrotnych: zarys problematyki z przykładami z Polski południowej

Paweł Henryk Karnkowski*, Wojciech Ozimkowski*

Multi-coverage geological interpretation of satellite images: an overview with some examples from southern Poland. *Prz. Geol.*, 49: 1067–1072.

Summary. Geological interpretations of small-scale satellite images are scarce and this subject is almost absent in scientific publications. This paper presents the multi-coverage geological interpretation of satellite images for some areas of southern Poland, where different genetic, petrologic and morphologic units occur. We believe that objectivity, simplicity and low cost, as well as quick data elaboration of the proposed methodology makes it useful in geological sciences. The data obtained from the multi-coverage geological interpretation of satellite images have a virtue of objectivity and enable to statistically evaluate the relationships between different geologic and geomorphologic phenomena.

Key words: satellite images, lineaments, southern Poland

Liczący blisko 100 lat termin „lineament”, wprowadzony przez W.H. Hobbsa w 1904 r. (Graniczny, 1989) był początkowo stosowany do form czytelnych na mapach topograficznych i geologicznych, a później także na zdjęciach lotniczych i w materiałach geofizycznych. Jednak szczególnie często zaczął być używany w połowie lat siedemdziesiątych XX w., po ukazaniu się pierwszych geologicznych interpretacji obrazów satelitarnych.

Zgodnie z najpopularniejszą definicją (O’Leary i in., 1976) lineament jest to „możliwa do zinterpretowania cecha liniowa powierzchni (lub ich kompozycja) zorientowana w całości lub na pewnych odcinkach prostoliniowo i odzwierciedlająca prawdopodobnie pewne zjawiska w podłożu” (Graniczny, 1989). Już pierwsze geologiczne, a raczej tektoniczne interpretacje obrazów satelitarnych z Landsata (Short i in., 1976 — *Central Coastal Range* w Kalifornii) ukazywały, oprócz wielu znanych i wykartowanych w terenie uskoków, prawie tyle samo linii określanych jako „fotolineament (uskok?) nie wykartowany na mapach geologicznych”. Późniejszy szybki rozwój interpretacji obrazów satelitarnych był wyraźnie ilościowy, a nie jakościowy. Wykonano ogromną ilość map lineamentów dla wszystkich kontynentów łącznie z Antarktydą (Hoppe & Tessensohn, 1981), lecz związki lineamentów z geologią (tektoniką) cały czas pozostawały niejasne. Zwykle pewna część lineamentów dawała się identyfikować ze znanymi uskokami, lecz większość lineamentów nie była z nimi związana. I na odwrót — tylko część skartowanych uskoków była czytelna na obrazach satelitarnych jako lineamenty. Ta geologiczna niejednoznaczność lineamentów pozostaje nadal podstawowym problemem w ich badaniach.

Drugim, niemniej ważnym, problemem jest subiektywizm wyznaczania przebiegu lineamentów. Najczęściej do dziś stosowana wizualna metoda interpretacji obrazu satelitarnego dopuszcza dużą dowolność w wyznaczaniu lineamentów — dlatego interpretacje tego samego obrazu wykonywane przez różnych interpretatorów mogą się znacznie różnić (Middelkoop, 1990; Ozimkowski & Mardal, 1994). Subiektywizm interpretacji można zmniejszyć porównując interpretacje różnego typu obrazów satelitar-

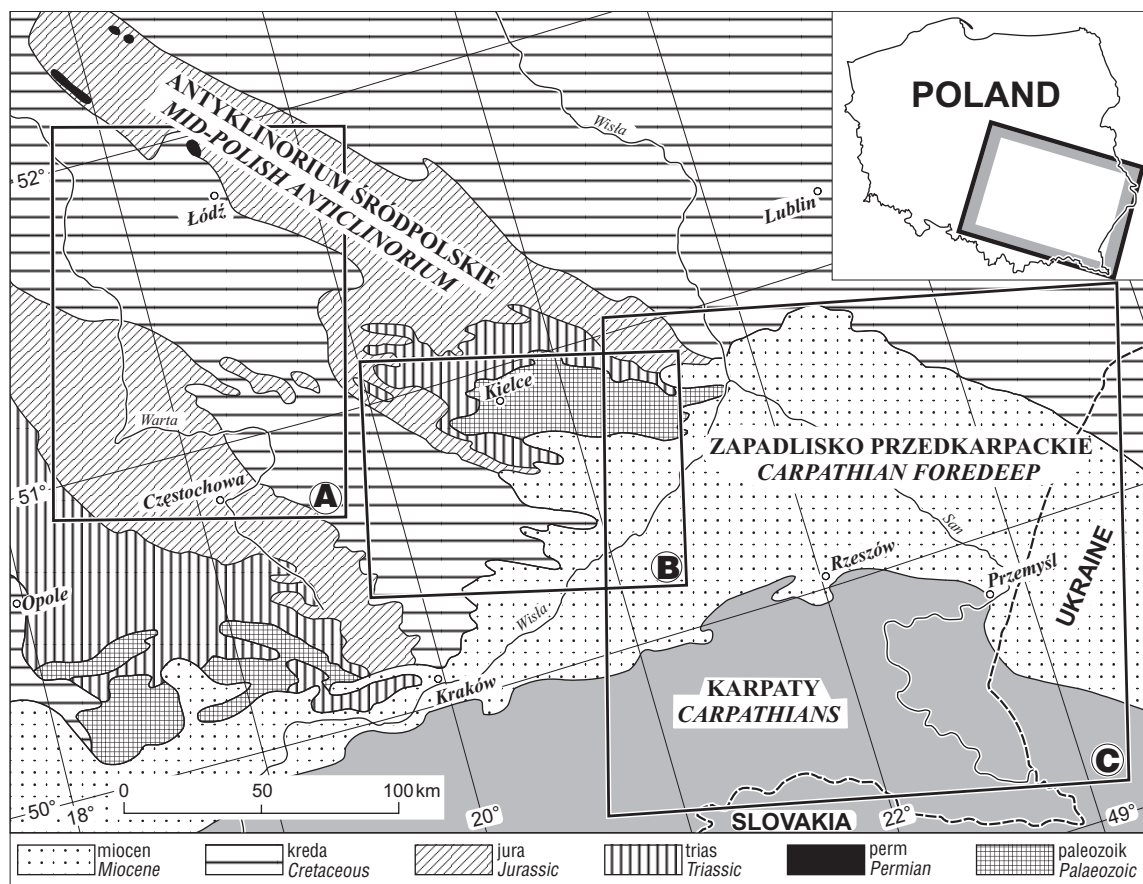
nych z tego samego obszaru (np. Landsata i HCMM — Bażyński i in., 1984) lub przez porównywanie interpretacji tego samego obrazu wykonanych przez różnych interpretatorów (Ozimkowski & Mardal, 1994). Niniejszy artykuł prezentuje wstępne wyniki interpretacji wykonanych tą drugą metodą, nazwaną „metodą pokryć wielokrotnych” (*multi-coverage geological interpretation* — Karnkowski & Ozimkowski, 1998), dla wybranych 3 obszarów testowych z południowej Polski (ryc. 1), różniących się stylem budowy geologicznej, litologią i wiekiem skał podłoża, tektoniką oraz stopniem pokrycia utworami czwartorzędowymi.

Metoda pokryć wielokrotnych

Każdy obraz satelitarny może być zinterpretowany w nieco odmienny sposób przez różnych interpretatorów. Z oczywistych powodów różnicowanie tych indywidualnych interpretacji rośnie w miarę pogarszania się czytelności fotointerpretacyjnej obrazu, jak to się dzieje np. w przypadku obszarów pokrytych utworami czwartorzędowymi. Gdy prześledzenie lineamentów jest trudniejsze, większą rolę gra intuicja interpretatora, będąca czynnikiem wysoce subiektywnym (ryc. 2A). Ten subiektywizm jest w metodzie pokryć wielokrotnych minimalizowany przez nałożenie na siebie wielu interpretacji tego samego obrazu wykonanych przez wielu (zwykle ponad 20) indywidualnych interpretatorów (Ozimkowski & Mardal, 1994). Na uzyskanej w ten sposób interpretacji zbiorczej lineamenty rysowane przez większość interpretatorów są wówczas wyraźnie widoczne w postaci wiązek w przybliżeniu równoległych do siebie linii (ryc. 2B).

Techniczna strona metody pokryć wielokrotnych jest bardzo prosta: zebrane interpretacje indywidualne można dygitalizować, lub skanować i następnie wektoryzować. Po korekcji geometrycznej polegającej na wpasowaniu każdej z interpretacji w jeden „wzorcowy” podkład można bez problemów praktycznie dowolną ilość interpretacji indywidualnych łączyć w jedną interpretację zbiorczą. Powiększanie wybranych fragmentów lineamentów na interpretacji zbiorczej pozwala na liczenie pojedynczych lineamentów wyznaczonych przez indywidualnych interpretatorów, a to z kolei umożliwia oszacowanie czytelności każdego z lineamentów interpretacji zbiorczej jako procentowego stosunku ilości interpretatorów, którzy wyznaczyli

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa



Ryc. 1. Lokalizacja badanych obszarów: A — elewacja radomszczańska, B — Góry Świętokrzyskie, C — polskie Karpaty wschodnie i zapadliśko przedkarpackie

Fig. 1. Location of test areas in southern Poland: A — Radomsko elevation, B — Holy Cross Mts., C — Polish Eastern Carpathians and their foredeep

dany lineament do ilości wszystkich interpretatorów, co w efekcie umożliwia dokonywanie klasyfikacji lineamentów według stopnia ich czytelności. W klasycznych indywidualnych interpretacjach wyróżnia się zwykle najwyżej 2 klasy czytelności lineamentów — wyraźnie czytelne i prawdopodobne, podczas gdy metoda pokryć wielokrotnych umożliwia wydzielenie kilku klas ich czytelności (np. 5 klas — Ozimkowski & Mardal, 1994; Karnkowski & Ozimkowski, 1999). Ma to duże znaczenie praktyczne: ponieważ lineamenty są uważane za powierzchniowy przejaw młodej i współczesnej aktywności dyslokacji w podłożu (Ostaficzuk, 1981; Graniczny, 1991), wobec tego czytelność lineamentów może być w pewnym przybliżeniu miarą stopnia aktywności tych głębokich dyslokacji. Taka ocena — zwłaszcza ilościowa — może mieć z kolei duże znaczenie dla wielu działów geologii stosowanej.

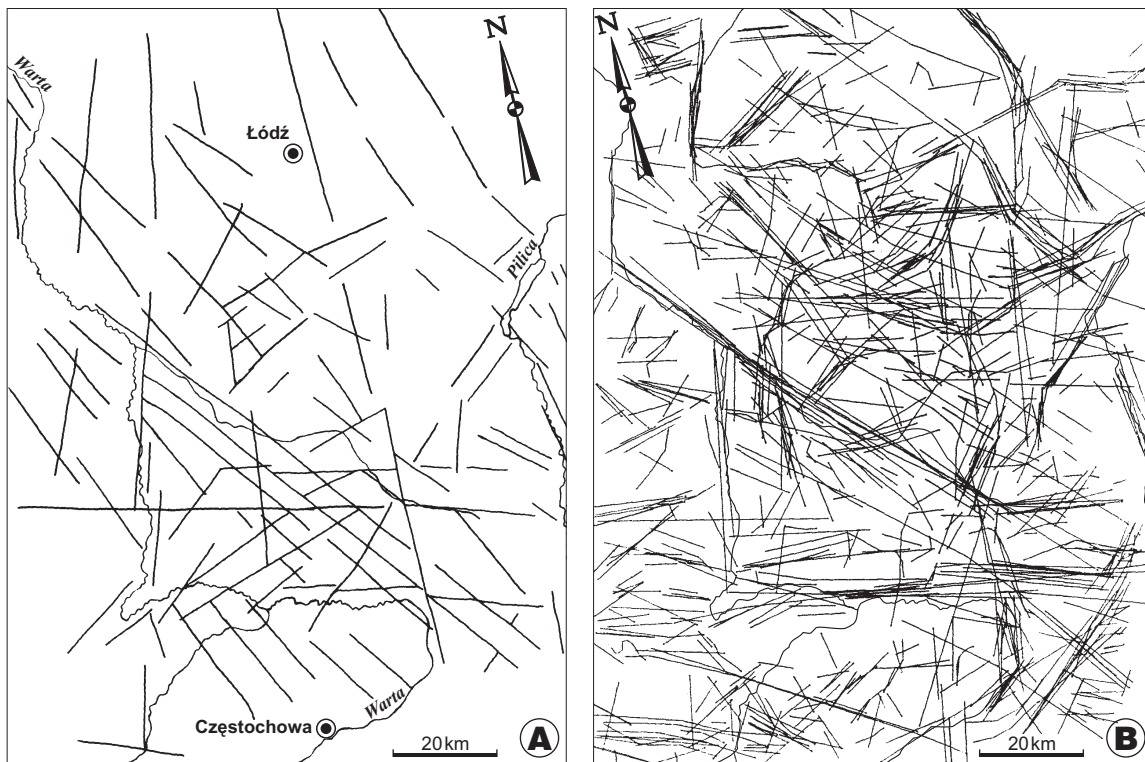
Lineamenty na powierzchni terenu mają pewną szerokość, będącą wynikiem ich dyspersji nad powodującymi je nieciągłościami w podłożu (Ostaficzuk, 1981). Metoda pokryć wielokrotnych pozwala łatwo ocenić szerokość lineamentu na podstawie szerokości wiązki wyznaczających go linii na interpretacji zbiorczej. W przypadku interpretacji indywidualnej wyznaczenie szerokości lineamentu jest bardzo trudne, a czasem wręcz niemożliwe do wykonania. Pomiar szerokości lineamentów na interpretacji zbiorczej pozwala z kolei na określenie jaki procent terenu jest pokryty przez lineamenty na danym obszarze (Karnkowski & Ozimkowski, 1998), zamiast mało precy-

zyjnego wyliczenia długości lineamentów występujących na jednostce powierzchni (np. $\text{km}^2 = \text{km}^{-1}$).

Obszary testowe

Elewacja radomszczańska. Obszar testowy ma wymiary 110 x 145 km i rozciągłość południkową (ryc. 1). Analizowano fotograficzne odbitki w skali 1 : 500 000, stanowiące fragment obrazu z satelity Landsat, wykonanego skanerem MSS w pasmach 4, 5 i 7 (zieleń, czerwień i bliska podczerwień). Każdy z interpretatorów analizował wszystkie 3 obrazy w tych 3 pasmach, co w połączeniu z dużą gęstością lineamentów występujących na obszarze elewacji radomszczańskiej (jeden z 3 obszarów o największej gęstości lineamentów w Polsce — Bażyński i in., 1984), pozwoliło uzyskać czytelną interpretację zbiorczą już przy 13 indywidualnych interpretacjach (z których co prawda każda złożona była z 3 interpretacji dla każdego z pasm, co w sumie dało 39 interpretacji).

Jeden z autorów (Karnkowski, 1980) wykonał swego czasu klasyczną indywidualną interpretację wizualną obrazów z Landsata w skali 1 : 1 000 000 i 1 : 250 000 dla obszaru elewacji radomszczańskiej, wykorzystując pasma 5, 6, a głównie 7 MSS — czyli czerwień i bliską podczerwień (ryc. 2A). Prześlędzone lineamenty układały się na tej interpretacji w 4 główne zespoły: wyraźnie widoczne NW–SE i NE–SW, oraz mniej czytelne WNW–ESE i N–S. Kierunek NW–SE, niewątpliwie związany z osiami laramijskich fałdów, w centralnej części obszaru był wyraźnie



Ryc. 2. Interpretacje obrazów satelitarnych z obszaru elewacji radomszczańskiej: A — indywidualna interpretacja na (podstawie Karnkowskiego, 1980), B — interpretacja metodą pokryć wielokrotnych (x13)

Fig. 2. Interpretation of satellite images from Radomsko Elevation: A — "single-handed" interpretation (based on Karnkowski, 1980), B — multi-coverage interpretation (x13)

zaburzony przez kierunek WNW–ESE — bajkalski (Pożaryski, 1972), występujący zapewne w podłożu pokrywy mezozoicznej.

Interpretacja otrzymana metodą pokryć wielokrotnych (ryc. 2B) jest dużo bogatsza w szczegóły niż wspomniana interpretacja indywidualna (ryc. 2A), lecz obie posiadają liczne wspólne elementy.

Porównując obraz uzyskany metodą pokryć wielokrotnych z budową geologiczną terenu (ryc. 3) można przede wszystkim zauważyć, że gęstość występowania lineamentów nie zależy od wieku utworów podłoża ani od ich litologii. Na mapach geologicznych obszary występowania względnie miękkich utworów kredowych — margli, piaskowców, mułowców — są całkowicie pozbawione uskoku (ryc. 3), podczas gdy lineamenty na tych obszarach są co najmniej tak samo gęste jak na obszarze występowania silniej skonsolidowanych utworów jurajskich (głównie wapieni). Niektóre z lineamentów mogą być korelowane z uskokami poprzecznymi występującymi w utworach jurajskich w południowej części analizowanego obszaru. Nie widać natomiast wyraźnego związku lineamentów z przebiegiem (kierunkami) granic geologicznych — charakterystycznego dla pozostałych dwóch obszarów testowych. Może to być spowodowane występowaniem na obszarze elewacji radomszczańskiej stosunkowo grubej pokrywy osadów czwartorzędowych.

Duża ilość lineamentów NW–SE, odzwierciedlających zapewne kierunku osi fałdów laramijskich, jest zgodna z kierunkiem jednego z głównych lineamentów Polski — lineamentu Poznań–Rzeszów (Bażyński i in., 1984), przecinającego skośnie środek badanego obszaru.

Intrygujący jest kompletny brak lineamentów odpowiadających uskoku obrzeżającym równoleżnikowy rów Bełchatowa, lub choćby równoległych do nich (ryc. 3). Mogło by to świadczyć o braku współczesnej aktywności tektonicznej wzdłuż tych uskoku — choć byłoby to sprzeczne z powszechnie przyjętymi poglądami (Baraniecka i in., 1980; Biernat, 1975), a także trudne do pogodzenia z notowanymi cały czas trzęsieniami ziemi na obszarze rowu (Stec & Siata, 1999). Nie można jednak wykluczyć, że wstrząsy te powstają w wyniku aktywności uskoku poprzecznych lub skośnych do przebiegu rowu. Obszar samego rowu Bełchatowa cechuje mniejsza gęstość lineamentów — nawet tych poprzecznych do rowu — niż na obszarach sąsiednich. Jest to być może po prostu wynik wypełnienia rowu znacznej miąższości nieskonsolidowanymi osadami trzeciorzędowymi, oraz przykrycia stosunkowo grubą pokrywą osadów czwartorzędowych obszarów otaczających rów.

Góry Świętokrzyskie. Testowany obszar ma rozmiary 85 x 112 km, o rozciągłości równoleżnikowej (ryc. 1). Interpretowano odbitkę fotograficzną obrazu w skali 1 : 500 000 wykonanego w paśmie 5 (czerwień) skanera MSS satelity Landsat. Zebrano wyjątkowo dużą ilość indywidualnych interpretacji tego obszaru (90), dzięki czemu — oprócz otrzymania interpretacji zbiorczej metodą pokryć wielokrotnych — możliwe było statystyczne opracowanie zarówno zróżnicowania wyników interpretacji indywidualnych w ramach „populacji” interpretatorów, jak i związków lineamentów z budową geologiczną i rzeźbą analizowanego terenu (Ozimek & Mardał, 1994).

Podobnie jak w przypadku elewacji radomszczańskiej na obszarze Gór Świętokrzyskich i ich obrzeżenia nie

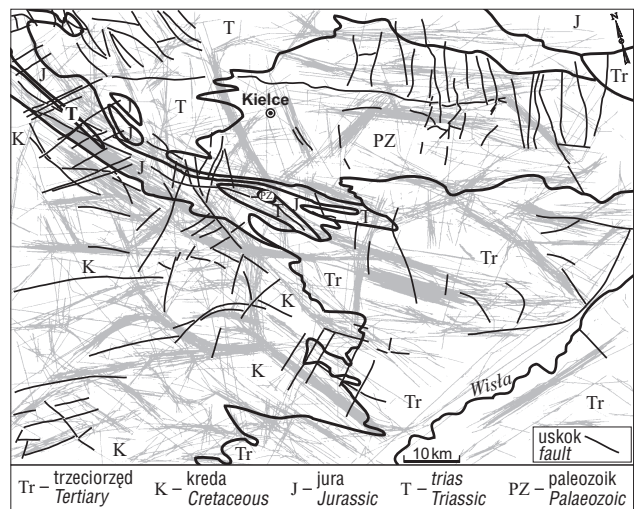


Ryc. 3. Elewacja radomszczańska — interpretacja metodą pokryć wielokrotnych na tle szkicu budowy geologicznej
Fig. 3. Radomsko Elevation — multi-coverage interpretation against the geological sketch

można było stwierdzić jednoznacznego związku częstotliwości występowania lineamentów (ich gęstości) z wiekiem ani z litologią skał podłoża (ryc. 4). Nawet w SE części interpretowanego obszaru, pokrytej miękkimi osadami miocenijskimi wypełniającymi zapadlisko przedkarpackie, lineamenty są prawie tak samo częste, jak na obszarach występowania bardziej skonsolidowanych skał.

Również nie widać wyraźnych różnic w gęstości występowania lineamentów pomiędzy obszarem trzonu paleozoicznego a mezozoicznym obrzeżeniem Gór Świętokrzyskich. Różne są jednak kierunki lineamentów — w obrzeżeniu mezozoicznym przeważają kierunki NW–SE, podczas gdy w trzonie paleozoicznym są one bardziej zbliżone do równoleżnikowych — WNW–ESE. Przemawiać to może za związkiem lineamentów z osiami fałdów lub równoległymi do nich uskoki podłużnymi — laramijskimi w obrzeżeniu, a wartyjskimi w trzonie paleozoicznym. Spora część lineamentów w południowym obrzeżeniu mezozoicznym Gór Świętokrzyskich odpowiada kuestom jurajskim.

Podobnie jak w przypadku głównych dyslokacji ograniczających rów Bełchatowa, największa dyslokacja na badanym obszarze — uskoki świętokrzyski — nie ujawnia się w postaci lineamentu. Tu jednak brak współczesnej aktywności dyslokacji jest bardziej prawdopodobnym tego powodem niż w przypadku rowu Bełchatowa. Nie ujawnia się wielkich stref dyslokacyjnych w postaci lineamentów jest zresztą od dawna znane; nawet na małoskalowych obrazach satelitarnych nie jest widoczna główna strefa dys-



Ryc. 4. Góry Świętokrzyskie — interpretacja metodą pokryć wielokrotnych na tle szkicu budowy geologicznej
Fig. 4. Holy Cross Mts. — multi-coverage interpretation against the background of the geological sketch

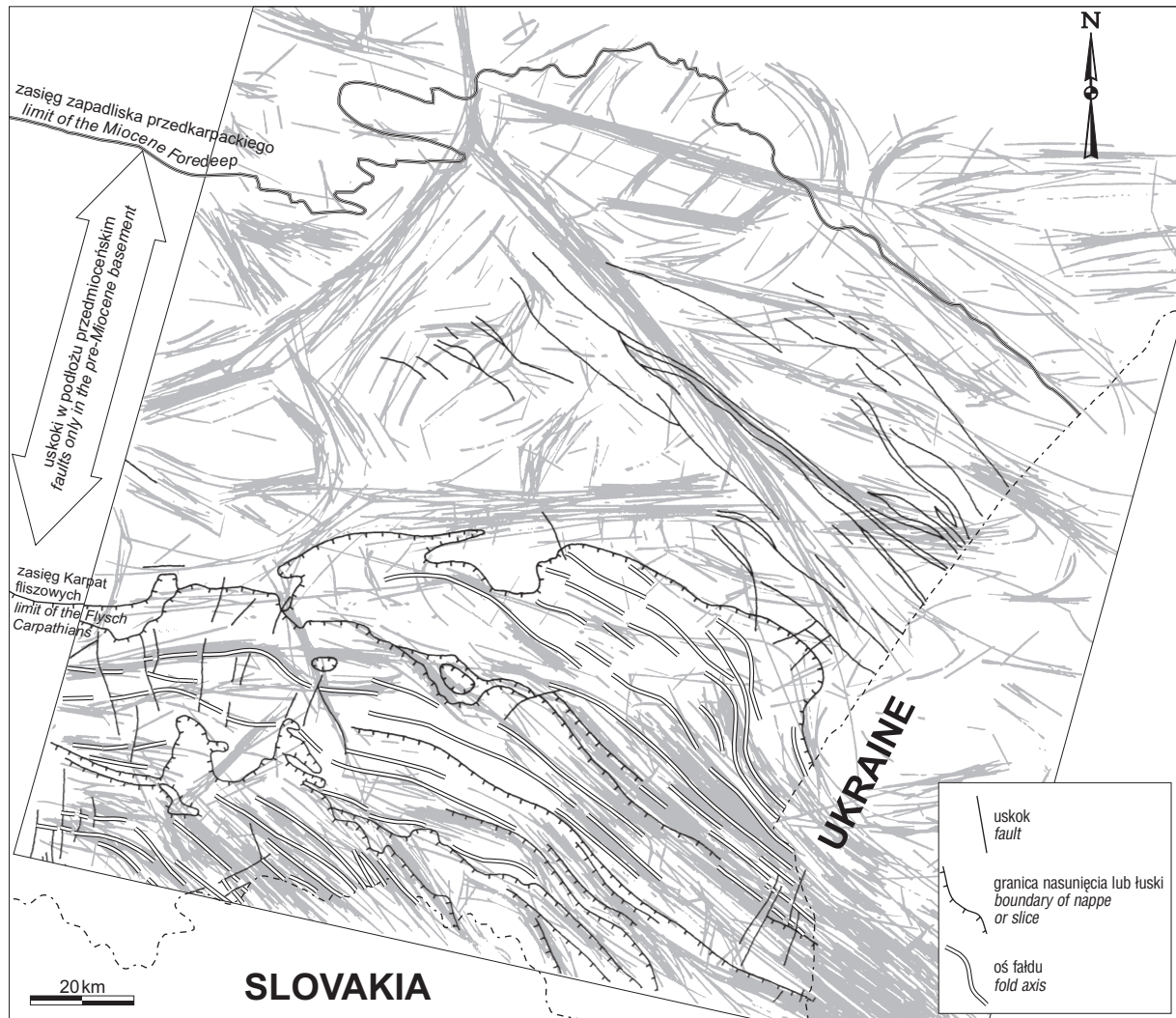
lokacyjna Europy — strefa Teisseyra-Tornquista (Ostaficzuk, 1995).

Karpaty i zapadlisko przedkarpackie. Do interpretacji tego obszaru wykorzystano całą scenę ze skanera MSS satelity Landsat (185 x 185 km), zarejestrowaną w paśmie 6 (bliska podczerwień) (ryc. 1). Interpretowano jej fotograficzną odbitkę w skali 1 : 1 000 000. Zebrano 40 interpretacji indywidualnych, z których następnie zestawiono interpretację zbiorczą (ryc. 5).

Obszar ten jest zróżnicowany geologicznie: obejmuje wschodnią część polskich Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpackiego, a na północy sięga po południowe obrzeżenie Gór Świętokrzyskich i Roztocze, wykraczając nieco poza granice Polski na obszar Ukrainy i Słowacji.

Na obszarze Karpat zewnętrznych ogromna większość lineamentów widocznych na interpretacji zbiorczej (ryc. 5) jest równoległa do skib i łusek, lub oddzielających je nasunięć. Jedyne kilka lineamentów w zachodniej części analizowanego fragmentu Karpat może odpowiadać uskoki poprzecznej, częściowo widocznej na mapach geologicznych. Brzeg nasunięcia karpacciego praktycznie nie jest widoczny — ma on zresztą zbyt urozmaicony przebieg, aby można go było wiązać z prostoliniowym z definicji lineamentem. Za to nieco na północ od brzegu Karpat, już w obrębie zapadliska przedkarpackiego, wyraźnie rysuje się równoleżnikowy lineament, być może genetycznie związany z reakcją podłoża na obciążanie nasuwającymi się Karpatami.

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego najlepiej czytelne lineamenty tworzą wyraźny trójkąt, którego podstawę stanowi wspomniany lineament równoległy do brzegu Karpat, pozostałe zaś boki — lineamenty przebiegające wzdłuż dolin Wisły i dolnego Sanu. Na powierzchniowych mapach geologicznych zapadliska przedkarpackiego na ogół nie ma uskoki tnących utworów miocenu, więc lineamenty na tym obszarze mogą odzwierciedlać aktywność dyslokacji w podłożu miocenu — np. lineament dolnego Sanu w przybliżeniu odpowiada przebiegowi zrębu Ryszkowej Woli (Krzywiec, 1997). Dalej ku NE jest widoczny nieco słabiej czytelny lineament, równoległy do lineamen-



Ryc. 5. Polskie Karpaty Wschodnie i zapadlisko przedkarpackie — zależność lineamentów od struktur geologicznych (uskoki w podłożu miocenu zapadliska)

Fig. 5. Polish Eastern Carpathians and their foredeep — relationship between lineaments and geological structures (faults in the basement of miocene sediments)

tu dolnego Sanu, odpowiadający granicy geologicznej (kueście) pomiędzy miękkimi miocenijskimi utworami zapadliska przedkarpackiego (piaski, iły) i nieco twardszymi skałami kredowymi Roztocza (margle, piaskowce, kreda). Monotonny litologicznie obszar zapadliska jest pocięty zaskakująco dużą ilością mniejszych i nieco słabiej czytelnych lineamentów. Wśród nich wyróżniają się 4 równoległe lineamenty o przebiegu WNW–ESE, występujące pomiędzy lineamentem dolnego Sanu a krawędzią Roztocza, oraz lineamenty NW–SE, na przedłużeniu niecki nidziańskiej na obszar zapadliska przedkarpackiego, które prawdopodobnie można wiązać z ruchem przesuwczym (Krzywiec 1997).

Na obszarze objętym analizowanym obrazem satelitarnym znajduje się duża ilość (ponad 150) małych, lecz dobrze rozpoznanych i od dawna eksploatowanych złóż ropy (głównie w Karpatach) i gazu (głównie w zapadlisku przedkarpackim). Ilość ta, w połączeniu ze zobiektywizowanym obrazem sieci lineamentów, pozwoliła na statystyczne przebadanie powszechnie od dawna wyrażanej opinii o współwystępowaniu złóż węglowodorów i lineamentów (Karnkowski & Ozimkowski, 1998). Potwierdziło się przypuszczenie, że aktywne (czyli „drożne”)

strefy dyslokacyjne, przejawiające się na powierzchni terenu jako lineamenty, służą za drogi migracji węglowodorów. Lecz jedynie złoża ropy, a właściwie ponad połowa z nich, występują dokładnie na lineamentach, lub przylegają do nich. Złoża gazu zachowują się wręcz odwrotnie i nie występują na lineamentach — 2/3 ilości złóż, zawierających ponad 87% zasobów, występuje z dala od lineamentów. Prawdopodobnie większa przepuszczalność w strefach lineamentów umożliwiła na tym obszarze ucieczkę gazu ziemnego do atmosfery (Karnkowski & Ozimkowski, 1998).

Wnioski

1. Geologiczna analiza zdjęć satelitarnych metodą pokryć wielokrotnych jest prosta, szybka w wykonaniu oraz mało kosztowna i może być przydatna w wielu dziedzinach nauk o Ziemi.

2. Metoda pokryć wielokrotnych jest dużo bardziej obiektywna niż klasyczne interpretacje pojedynczego obserwatora, a uzyskane wyniki mogą być podstawą do opracowań statystycznych badających zależności

pomiędzy różnymi jednostkami geologicznymi i geomorfologicznymi.

3. Powszechność prostych graficznych programów komputerowych znacznie ułatwia wykonanie analizy metodą pokryć wielokrotnych.

4. Proponowana metoda może być również wykorzystywana w geologii stosowanej i planowaniu przestrzennym.

Prezentowane wyniki zostały uzyskane w trakcie realizacji tematu BW-1484/9.

Literatura

- BARANIECKA M.D. 1980 — Budowa geologiczna regionu bełchatowskiego. *Prz. Geol.*, 28: 381–390.
- BAŻYŃSKI J., DOKTÓR S. & GRANICZNY M. 1984 — Mapa fotogeologiczna Polski. *Wyd. Geol.*
- BIERNAT S. 1975 — Zagadnienia neotektoniki w rejonie Bełchatowa. [W:] Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce. T.1: 111–119. *Wyd. Geol.*
- GRANICZNY M. 1989 — Możliwości wykorzystania fotolineamentów do oceny sejsmicznego zagrożenia terenu. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 365: 5–46.
- GRANICZNY M. 1991 — Fotolineamenty i ich znaczenie geologiczne. *PIG. Instrukcje i metody badań geologicznych. Zesz.*, 50: 1–72. *Wyd. Geol.*
- HOPPE V.P. & TESSENHOHN F. 1981 — Landsat-Bilder der Antarktis. *Geol. Rundschau*, 70: 87–92.
- KARNKOWSKI P.H. 1980 — Elewacja radomszczańska w świetle geologicznej interpretacji zdjęć satelitarnych. *Prz. Geol.*, 28: 413–415.
- KARNKOWSKI P.H. & OZIMKOWSKI W. 1998 — The distribution of oil and gas fields in relation to satellite image interpretation: an example from the Polish East Carpathians and the adjacent foredeep. *Jour. Petrol. Geol.*, 21: 213–231.
- KARNKOWSKI P.H. & OZIMKOWSKI W. 1999 — Multi-coverage geological interpretation of satellite images: a case study from selected areas of Poland. *International Jour. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1: 132–145.
- KRZYWIEC P. 1997 — Large-scale tectono-sedimentary Middle Miocene history of the central and Eastern Polish Carpathian Foredeep Basin — results of seismic data interpretation. *Prz. Geol.*, 45: 1039–1053.
- MIDDELKOOP H. 1990 — Uncertainty in a GIS: a test for quantifying interpretation output. *ITC Jour.*, 3: 225–232.
- O'LEARY D.W., FRIEDMAN J.D. & PHON H.A. 1976 — Lineament, Linear, Lineation: Some proposed new standards for old terms. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 87: 1463–1469.
- OSTAFICZUK S. 1981 — Megalineaments as evidence of some global tectonic phenomena. *Bull. de l'Acad. Polon. des Sc. Ser. Sc. Des Sc. De la Terre*, 29: 143–154.
- OSTAFICZUK S. 1995 — Impact of Poland's geological structure on neodynamics. *Tech. Poszuk. Geol. Geosynop. Geoter.*, 3: 79–107.
- OZIMKOWSKI W. & MARDAL T. 1994 — Powtarzalność wyników wizualnej interpretacji geologicznej zdjęcia satelitarnego. *Prz. Geol.*, 42: 272–275.
- POŻARYSKI W. 1972 — Tektonika elewacji radomszczańskiej. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 41: 169–179.
- SHORT N.M., LOWMAN P.D. Jr., FREDEN S.C. & FINCH W.A. Jr. 1976 — Mission to Earth: Landsat views the world. *NASA*.
- STEC K. & SIATA R. 1999 — Związek wstrząsów sejsmicznych z tektoniką KWB Bełchatów. [W:] Młodoalpejski rów Kleszczowa: rozwój i uwarunkowania w tektonice regionu. *Słok k. Bełchatowa*, 15–16.10.1999. Wrocław 1999.