Annales Societalis Geologorum Poloniae (1988), vol. 58: 423–443
PL ISSN 0208-9068

O NATURZE NIEKTÓRYCH LINEAMENTÓW (NA PRZYKŁADZIE ROZTOCZA)

Wojciech Jaroszewski[1] & Anna Piątkowska[2]

[1]*Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa*
[2]*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa*

Jaroszewski, W. & Piątkowska, A., 1988. O naturze niektórych lineamentów (na przykładzie Roztocza). On the nature of some lineaments (exemplified by the Roztocze Ridge, SE Poland). (In Polish, English summary). *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 58: 423–443

Abstract: Comparison between the nets of short satellite and radar lineaments on the one hand, and the structure (on different depths) and morphotectonics of the marginal zone of the Carpathian foredeep on the other, leads to the conclusion that the lineaments have shallow foundations: satellite lines – mainly in the net of near-surface faults, radar lines – in the pattern of joints and minor erosional features. At the same time the density of satellite lineaments depends on recent tectonic activity, but the relation is not simply a repetition (a projection upwards) of basement directions.

Key words: Satellite lineament, radar lineament, reproduction of deep seated structures, Roztocze Ridge (SE Poland).

Manuscript received November 1987, accepted December 1987

Abstrakt: Porównanie sieci krótkich lineamentów satelitarnych i radarowych ze strukturą (na różnych głębokościach) i morfotektoniką odcinka brzeżnej strefy zapadliska przedkarpackiego prowadzi do wniosku, że lineamenty te mają płytkie założenia: linie satelitarne – głównie w sieci przypowierzchniowych uskoków, linie radarowe – w sieci spękań ciosowych i drobnych zagłębień erozyjnych. Jednocześnie występuje zależność gęstości lineamentów satelitarnych od współczesnej aktywności tektonicznej, zależność ta nie polega jednak na prostym reprodukowaniu kierunków wgłębnych.

WSTĘP

W artykule tym autorzy podejmują nienowe pytanie: jakimi przyczynami geologicznymi spowodowane jest istnienie lineamentów widocznych na zdjęciach satelitarnych i lotniczych radarowych. Mowa tu będzie o lineamentach krótkich (od półtora, a w przypadku radaru od pół kilometra, do kilku kilometrów), odnoszących się do terenu o stopniu odsłonięcia typowym dla wyżyn Polski Południowej, a rozpoznanych (przez drugiego z autorów) na obrazach typu stosowanego rutynowo dla terenu Polski (kompozycje barwne Landsat 1:250 000 i wyciągi spektralne 1:500 000, maj 1978; zdjęcia radarowe systemu Toros 1:100 000, 1979 r.)

Przez lineamenty autorzy rozumieją, w sposób zbliżony do definicji O'Leary'ego *et al.* (1976), wszelkie naturalne, liniowe (tj. przynajmniej w przybliżeniu prostoliniowe) cechy powierzchni terenu o rozmiarach pozwalających na ich skartowanie. Niniejsza praca dotyczy tej ich części, która jest rozpoznawalna metodami teledetekcyjnymi i której można przypisać (choćby hipotetycznie) przyczyny geologiczne. Zagadnienia terminologiczne i techniczne związane z lineamentami nie będą tu dyskutowane, zostały one już oświetlone w polskiej literaturze – najpełniej przez Bażyńskiego i Granicznego (1978), Ostaficzuka (1981) oraz Bażyńskiego (1982), a także w wielu publikacjach zagranicznych (np. Kac *et al.*, 1986). Wypada tylko wyjaśnić, że autorzy nie zastosowali terminu fotolineament (Bażyński & Graniczny, 1978) z uwagi na objęcie analizą także obrazów radarowych, w stosunku do których przedrostek *foto* byłby nielogiczny. Analizowane tu krótkie lineamenty satelitarne dość dobrze odpowiadają pojęciu fotolineacji geologów niemieckich (np. Murawski, 1984; por. jednak szersze znaczenie w pracy Kautzlebena i Bankwitza, 1979).

STAN ZAGADNIENIA

Zagadnienie natury lineamentów geologicznych wykrywalnych teledetekcyjnie ma już obszerną literaturę. Ze wszystkich opracowań zdaje się wynikać, że uniwersalnego rozwiązania tego zagadnienia być nie może, pojawienie się liniowych cech powierzchni terenu wynika bowiem z wielu przyczyn, które w różnym stopniu dochodzą do głosu na różnych obszarach. Jednakże do jednego i tego samego obszaru odnoszą się często różne lineamenty zależnie od rodzaju obrazu, od parametrów zdjęcia, a także od techniki interpretacji, nie mówiąc już o wpływie subiektywizmu badacza (zob. np. Ostaficzuk, 1981; Bażyński, 1982). Wciąż opisywane są doskonale wyrażone lineamenty, które nie zyskały przekonującego wyjaśnienia (Baumgart-Kotarba, 1981; Bażyński, 1982; Rutkowski & Sokołowski, 1985).

Niewątpliwie jednak od czasu pojawienia się terminu lineament (Hobbs, 1904) po dzień dzisiejszy znacznie przeważa pogląd o związku lineamentów z powierzchniami i strefami nieciągłości tektonicznych (por. Kac *et al.*, 1986); na tle tego poglądu pojawiło się nawet pojęcie tektoniki lineamentarnej (Sonder, 1938). Na terenach dobrze odkrytych związek ten bywa bezpośredni: lineament jest tożsamy z linią intersekcyjną powierzchni uskokowej, dużej szczeliny lub pasma zwiększonej gęstości spękań. Tam jednak, gdzie spękane kompleksy skalne są przykryte płaszczem utworów luźnych lub zlityfikowanymi utworami wyższego kompleksu strukturalnego, pojawia się potrzeba pośrednich przesłanek identyfikacyjnych (Zwiagielski, 1978) nieciągłości podłoża. Reprezentują je głównie liniowe cechy rzeźby, pokrywy glebowej i zwietrzelinowej, rozmieszczenia wód gruntowych i szaty roślinnej. Dość powszechnie sądzi się, że głębsze dysjunkcje ujawniają się na powierzchni między innymi lub przeważnie dzięki ich młodej lub współczesnej aktywności tektonicznej (Bażyński, 1980, 1982; Kac *et al.*, 1986; Szczęsny, 1987).

Mimo współbrzmienia większości opinii w wymienionych kwestiach, dotychczas niewiele wiadomo, jakie jest strukturalne tło konkretnych lineamentów na obszarach zakrytych oraz jaki jest mechanizm projekcji cechy liniowej z głębi na powierzchnię terenu; w związku z tym rozbieżne są sądy co do tego, z jakiej głębokości w danych warunkach ta projekcja może zachodzić. Ponieważ wątpliwości te dotyczą w szczególnym stopniu lineamentów niewielkich, autorzy liczą na ogólniejszą użyteczność swej analizy z terenu Roztocza, poświęconej tym właśnie kwestiom.

OBSZAR ANALIZY

Obszarem badań był 50-kilometrowy odcinek południowo-zachodniej strefy krawędziowej Roztocza Lubelskiego (Fig. 1) sięgający od doliny Sopotu na południowym wschodzie (okolice Józefowa) poza dolinę Białej Łady na północnym zachodzie (okolice Frampola). Teren ten jest, jak się zdaje, predestynowany do takiej analizy, gdyż: (a) jako strefa brzeżna zapadliska

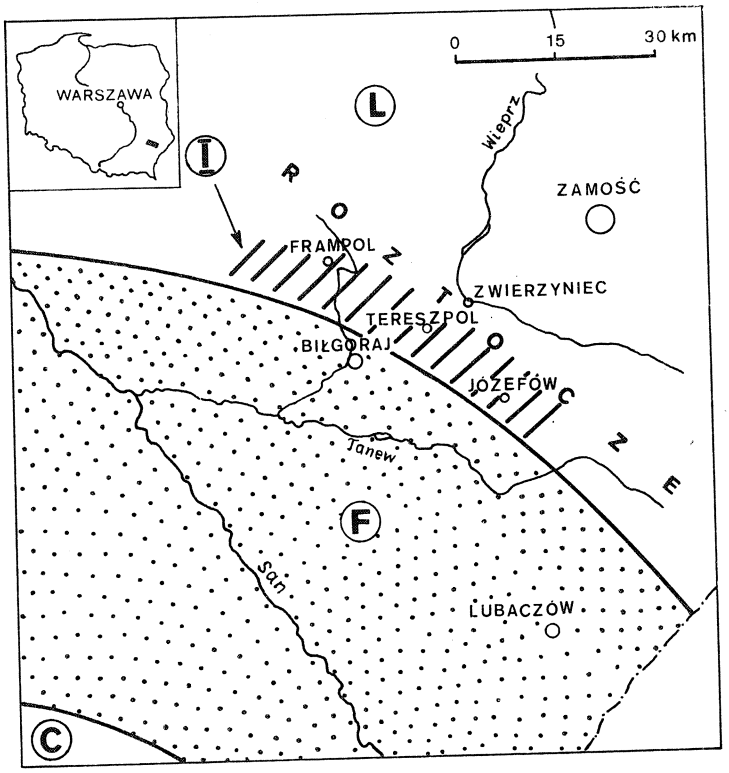

Fig. 1. Położenie obszaru badań. *C* — Karpaty; *F* — zapadlisko przedkarpackie; *L* — Wyżyna Lubelska; *I* — odcinek strefy krawędziowej zapadliska przedkarpackiego omawiany w pracy

Fig. 1. Position of investigated area. *C* — Carpathians; *F* — Carpathian foredeep; *L* — Lublin Upland; *I* — investigated area (section of border zone of Carpathian foredeep)

przedkarpackiego, odznacza się dużym urozmaiceniem budowy geologicznej, (b) budowa ta jest nieźle poznana, (c) pokaźną rolę odgrywa tektonika nieciągła, (d) jest to obszar klasycznego rozwoju kilku typów krawędzi morfologicznych, w różny sposób skorelowanych z budową geologiczną, (e) jest to obszar współcześnie aktywny tektonicznie, przy czym zależności morfotektoniczne bywają dobrze czytelne, (f) odcinek wybrany do analizy jest miejscem, gdzie dokonuje się dość gwałtowna zmiana kierunków morfostrukturalnych (Jahn, 1956), z grubsza skorelowana z reorientacją struktur wgłębnych (zob. dalszy tekst).

Założenie autorów polegało na tym, aby wykorzystując powyższą zmienność cech sprawdzić, jak reaguje sieć lineamentów na zmiany tych cech terenu, które mogłyby być przyczyną powstania owej sieci. W tym celu analizowany obszar został podzielony na trzy domeny odpowiednio jednorodne: Józefów (odcinek Sopot – Szum), Tereszpol (Szum – Gorajec) i Frampol (Gorajec – g. Chełmik). Prócz tego wydzielono kilka subdomen spękań ciosowych, orientację uskoków natomiast z powodu niewielkiej liczby danych przedstawiono dla całego obszaru łącznie. Wykorzystano nie opublikowane dane pomiarowe i kartograficzne Jaroszewskiego, Woźniakowskiej (1977), Butkiewicz (1973) i Jarosińskiego (1984).

LINEAMENTY SATELITARNE

Lineamenty satelitarne odznaczają się niewielkim zróżnicowaniem długości (1:4), co jest o tyle dziwne, że przez analizowany odcinek Roztocza przebiegają w przybliżeniu jednokierunkowe (NW – SE), aktywne struktury linijne o regionalnej rozciągłości – krawędzie morfotektoniczne na pograniczu zapadliska przedkarpackiego i lubelskiej części wału metakarpackiego. Wprawdzie większość najbardziej wyrazistych lineamentów układa się w ciąg ogólnie towarzyszący strefie krawędziowej (Fig. 2), ale w stosunku do tych krawędzi, które są najlepiej wyrażone w rzeźbie i zarazem noszą najwyraźniejsze objawy aktywności współczesnej (Hamernia – Pardysówka – Tarnowola i Trzęsiny – Frampol; por. Buraczyński, 1984), ciąg ten jest przesunięty o kilka kilometrów w głąb obszaru wyżynnego, gdzie częściowo tylko pokrywa się ze znacznie mniej wyrazistym przebiegiem tzw. krawędzi wewnętrznej (Pawłowski, 1938; Maruszczak & Wilgat, 1956). Biorąc jeszcze pod uwagę cofanie się krawędzi pod działaniem erozji wstecznej, trzeba uznać, że najistotniejsza linia morfotektoniczna w tej części Polski, mająca niewątpliwe założenia wgłębne (Ney, 1966; Znosko, 1974), nie ma ścisłego odzwierciedlenia w obrazie satelitarnym. Sytuacja ta przypomina paradoks stwierdzony przez Granicznego (1985) w rejonie rowu Bełchatowa, którego aktywne krawędzie nie zaznaczają się w akurat najgęstszym tam rysunku sieci lineamentów. Wyjaśnienie tego paradoksu podane przez wspomnianego autora (poligeniczna struktura rowu) nie może jednak być odniesione do krawędzi Roztocza, która na znacznych odcinkach jest ciągłą linią morfotektoniczną, aktywną z przerwami co najmniej od badenu po dziś dzień.

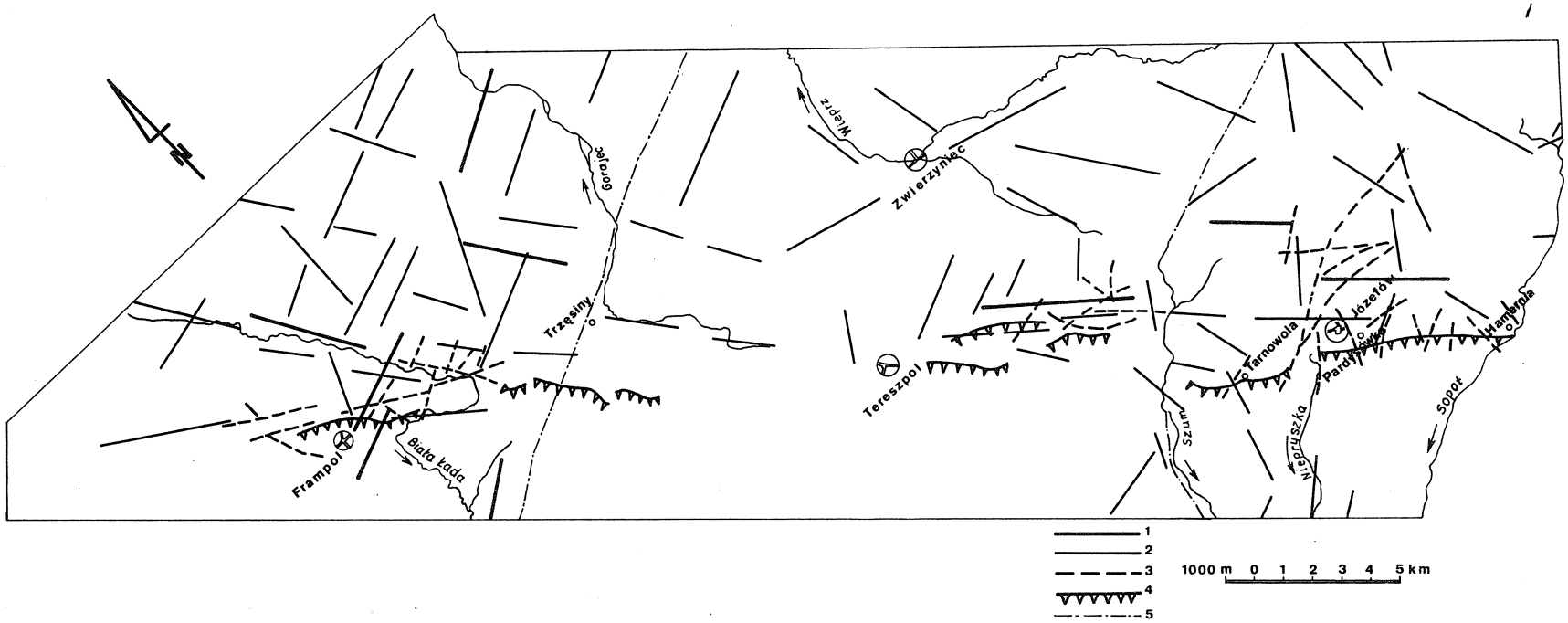

Fig. 2. Mapa lineamentów satelitarnych. *1* — lineamenty wyraźne; *2* — lineamenty mniej wyraźne; *3* — uskoki; *4* — główne krawędzie morfologiczne; *5* — granice między domenami strukturalnymi

Fig. 2. Map of satellite lineaments. *1* — distinct lineaments; *2* — less distinct lineaments; *3* — faults; *4* — main escarpments; *5* — boundaries between structural domains

Słaba jest też zbieżność przebiegu uskoków poprzecznych z konkretnymi lineamentami, trudno dopatrzeć się również wpływu ich wyrazistości morfologicznej na obraz satelitarny. Jednak większa gęstość lineamentów satelitarnych koreluje z miejscami zagęszczenia uskoków; rozrzedzenie przypada na rejon Tereszpola, gdzie w pasie tzw. padołów poprzecznych (Jahn, 1956) ciągłość morfostruktur strefy krawędziowej załamuje się. Korelacja ta wskazuje, że geneza lineamentów wiąże się choć częściowo z dynamiką płytkiego, kenozoicznego kompleksu strukturalnego, ale związek ten nie polega na prostym reprodukowaniu uskoków przez lineamenty.

Pod względem kierunków występują dwa główne zespoły (Fig. 3):130–150°, a więc w przybliżeniu podłużny względem głównego kierunku roztoczań-

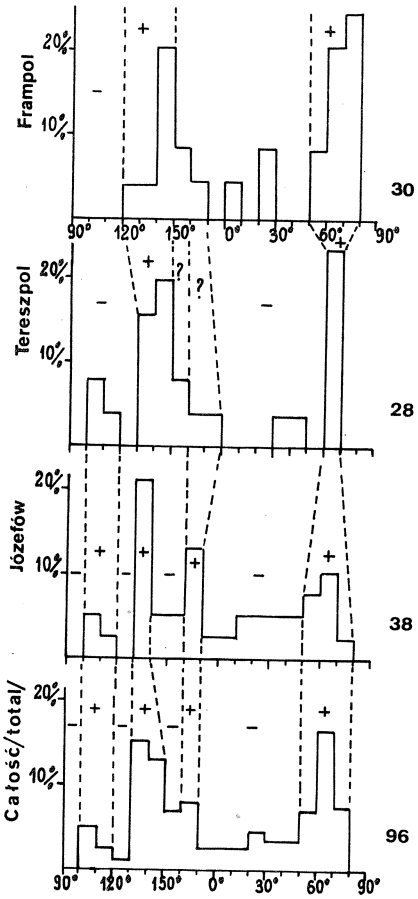

Fig. 3. Diagram kierunków lineamentów satelitarnych. Liczby obok figur oznaczają liczbę danych

Fig. 3. Diagram of directions of satellite lineaments. The numbers denote number of data

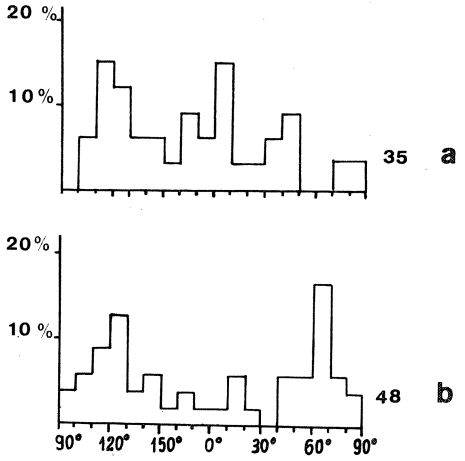

Fig. 4. Diagram kierunków uskoków: *a* – drobnych; *b* – średnich. Liczby obok figur oznaczają liczbę danych

Fig. 4. Diagram of fault directions: *a* – minor faults; *b* – medium range faults. The numbers denote number of data

skiego (NW–SE), z dominantą odchyloną od tego kierunku o 5–10° ku kierunkom południkowym; 50–80°, a więc w przybliżeniu ENE–WSW. Zwraca uwagę fakt, że ten drugi zespół jest rozwinięty najsilniej w domenie Frampola, gdzie zarazem zanika podrzędny zespół 100–120° (WNW–ESE); dzieje się tak akurat tam, gdzie strefa krawędziowa zagina się ku kierunkowi „lubelskiemu" (Jahn, 1956) WNW–ESE, a zanikają kierunki morfologiczne ENE–WSW (por. Jahn, 1956, ryc. 92). Sytuacja ta wyraźnie zaprzecza związkom między lineamentami satelitarnymi a rzeźbą, nawet tą wyraźnie uwarunkowaną przez strukturę i dynamikę współczesną. Podobną wymowę ma sam fakt znacznej stałości kierunkowej omawianych lineamentów, mimo jednoczesnej pokaźnej zmienności dominujących kierunków w rzeźbie.

Korelacja statystyczna kierunków satelitarnych z kierunkami ciosu (por. Fig. 3 i Fig. 9) jest słaba zarówno w poszczególnych domenach (z wyjątkiem Tereszpola), jak i w ujęciu globalnym, przy czym jedynym składnikiem nieźle skorelowanym są kierunki podłużne (NW–SE), wspólne wszystkim grupom cech linijnych, a więc mało przydatne do rozpoznawania powiązań cząstkowych. Uwagi te dotyczą również drobnych uskoków (por. Fig. 3 i Fig. 4a), które zresztą w dużej części wykorzystują powierzchnie spękań. I w tych przypadkach zatem wychodzi na jaw brak czytelnego uzależnienia krótkich lineamentów satelitarnych od najpłytszych, powierzchniowych cech terenu. Wyraźnie lepiej natomiast korelują z kierunkami satelitarnymi kierunki uskoków średnich, czyli uchwytnych kartograficznie (por. Fig. 3 i Fig. 4b). Najlepiej skorelowane są tu nie kierunki podłużne, lecz ENE–WSW. W grupie podłużnej pewne przemieszczenie dominanty kierunków uskokowych (względem satelitarnych) ku WNW–ESE tłumaczy się nieuwzględnieniem przez większość autorów map źle widocznych uskoków krawędzi zewnętrznej, o kierunku typowo „roztoczańskim".

Powyższe porównania przemawiają za tym, że krótkie lineamenty satelitarne z obszaru Roztocza są uwarunkowane kierunkowo i co do ogólnego rozmieszczenia przez średnie uskoki, porównywalne z lineamentami pod względem długości, choć w części będące fragmentami rozległej krawędziowej strefy uskokowej. Mowa tu o uskokach kenozoicznego kompleksu strukturalnego oraz stropu kredy. Naturalnie, znany fakt dziedziczenia starych założeń strukturalnych przez piętra młodsze w tej części Polski czyni możliwym dopatrywanie się omawianych uwarunkowań dużo głębiej. Przeciw temu przemawiają jednak dwa fakty: (a) wspomniany już brak reakcji sieci lineamentów na ostrą zmianę trendu strukturalnego w podłożu Roztocza, dokonującą się w rejonie padołów poprzecznych lub w jego pobliżu (zob. np. Pożaryski, 1979; Żelichowski, 1983; Pożaryski & Dembowski, 1983; a także Dąbrowski & Kaczkowska, 1962; Skorupa, 1974); (b) brak analogii kierunków systemów dyslokacji poprzecznych w podłożu paleozoicznym, odtwarzanych przez różnych autorów (np. Żelichowski, 1972; Żelichowski & Kozłowski, 1983; Pożaryski & Dembowski, 1983), i sieci lineamentów: ta ostatnia odznacza się dominacją kierunków ENE–WSW, wśród głębokich uskoków prawie nieobe-

cnych (przeważają tam kierunki NE—SW), za to pospolitych wśród uskoków w kompleksach przypowierzchniowych. Zasługuje na uwagę fakt, że podobne przemieszczenie kierunków analogicznej grupy lineamentów względem uskoków w paleozoiku wynika z materiałów zestawionych przez Kibitlewskiego i Daniel-Danielską (1987) z obszaru Lubelskiego Zagłębia Węglowego.

Tak więc krótkie lineamenty satelitarne zbadanego obszaru są, jak się zdaje, odzwierciedleniem niegłębokiej sieci uskokowej, zarazem nie będąc prostym wyrazem samych linii uskokowych. Rozbieżność obrazu lineamentu i charakteru oraz pozycji jego dysjunkcji macierzystej wyjaśnia się zwykle rozpraszaniem wgłębnych impulsów dynamicznych w miarę ich przenikania ku górze przez wielowarstwowy ośrodek (np. Ostaficzuk, 1981). Koncepcja ta zaniedbuje jednak fakt, że znaczna część uskoków — prawdopodobnie większość uskoków normalnych — zaczyna swój rozwój niegłęboko pod powierzchnią, ich główny wektor propagacji zwrócony jest więc w głąb, a nie ku górze (por. Jaroszewski, 1981, pp. 147 i 163). Jeśli chodzi o omawianą grupę uskoków Roztocza, są one w ogóle zbyt płytkie (prócz głównych dyslokacji krawędziowych), by w procesie swego rodzaju mogły ulec znaczniejszej refrakcji; część z nich stanowi nawet odmłodzone uskoki synsedymentacyjne, które były czynne w miocenie na poziomie odpowiadającym obecnej powierzchni terenu (Jaroszewski, 1977).

Na Roztoczu mechanizm odwzorowania dysjunkcji przez lineamenty musiał więc być inny. Zdaniem autorów, szczególnie prawdopodobne są następujące mechanizmy: (a) różnorakie zmiany pola naprężeń w skrzydłach uskoku mogą sprzyjać rozluźnieniu mas i penetracji wody nie wzdłuż linii uskokowej, lecz równolegle do niej w pewnej odległości (Fig. 5a); (b) antytetyczna rotacja stopni uskokowych, tak typowa dla Roztocza (Harasimiuk *et al.*, 1971; Jaroszewski, 1977; Jarosiński, 1984), może wywołać wtórne efekty topograficzne i hydrogeologiczne, wytwarzające lineament również nie wzdłuż uskoku (Fig. 5b); (c) uskoki odwrócone i przesuwcze mogą być obrzeżone przez sferę mechanicznej kompakcji skał, kompensującej przyrost naprężeń w płaszczyźnie poziomej (por. Jaroszewski, 1981, pp. 147 i 163); na zewnątrz od tej strefy może gromadzić się woda i mogą wystąpić warunki korzystne dla wegetacji roślinnej (Fig. 5c); (d) jeżeli uskokowi zrzutowemu towarzyszy odpowiedni gradient hipsometryczny, woda opadowa, infiltrując w rozluźnioną spękaniowo i dylatancyjnie strefę uskokową, może tworzyć źródła i wysięki w skrzydle zrzuconym z dala od uskoku; wpływy te mogą być ułatwione przez pas połogich ścięć, będących reakcją na reorientację naprężeń w obniżonym skrzydle fleksury, poprzedzającej powstanie uskoku (por. Szerman *et al.*, 1983, rys. 4.1.a oraz Fig. 5d). Każdy z powyższych mechanizmów jest stopniowalny: w miarę zaniku jego działania lineament pokrywa się coraz ściślej z linią lub strefą uskokową.

Wpływ dynamiki neotektonicznej i współczesnej również nie jest bezpośredni. Rozkład gęstości lineamentów świadczy jednak, że wpływ ten istnieje: większość zjawisk linijnych skupia się na tych odcinkach strefy krawędziowej,

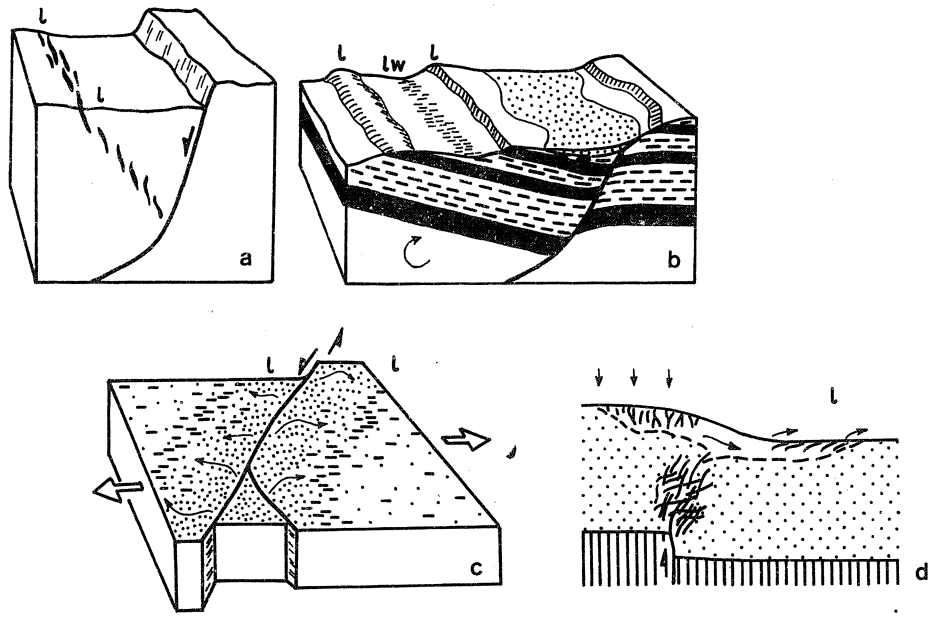

Fig. 5. Kilka mechanizmów wytwarzania lineamentów (*l*) w związku z płytkim ruchem uskokowym. *a* — pasmo zwiększonych naprężeń ścinających w skrzydle zrzuconym uskoku normalnego; *b* — linijne efekty morfologiczne i hydrogeologiczne w wyniku uskokowej rotacji antytetycznej warstw o zróżnicowanej litologii (*lw* — lineament utworzony przez wzrost zawodnienia na powierzchni terenu); *c* — kompakcja tektoniczna (gęstość kropek) w sąsiedztwie uskoku przesuwczego, spowodowana niemożnością poszerzania się bloku zuskokowanego (duże strzałki), małe strzałki pełne — wytłaczanie wody; *d* — przepływ wody infiltracyjnej (strzałki) z wyniesionego ku obniżonemu skrzydłu fleksury

Fig. 5. Some mechanisms producing lineaments (*l*) due to near-surface fault movement, *a* — zone of enlarged shear stresses in downthrown side of a normal fault; *b* — linear morphological and hydrogeological effects of antithetic fault rotation of beds of different lithologies (*lw* — lineament made by growth of water content on the surface); *c* — tectonic compaction (density of points) near a strike slip fault, extension of faulted block being impossible (tendency to extend — great arrows; squeezing out of the water — little solid arrows); *d* — flow of infiltration water (arrows) down the downthrown wing of a flexure

które noszą znamiona młodej aktywności dynamicznej, a najwyraźniejszy spadek zachodzi na względnie pasywnym „klawiszu" poprzecznym w osi międzyrzecza Wieprz—Gorajec. Proces prowadzący do fotogeologicznej czytelności młodych wpływów endodynamicznych rozumie się na ogół jako przenikanie z głębi starych powierzchni dyslokacyjnych lub przynajmniej reprodukowanie się ku górze pasm zwiększonego gradientu pola ruchów. W omawianym przypadku mamy jednak do czynienia z odmienną sytuacją, którą autorzy interpretują jako uruchomienie nieciągłości przypowierzchniowych pod wpływem wgłębnej ruchliwości pionowej, której charakterystyka przestrzenna (przebieg stref koncentracji ruchu względnego, wartości i zwroty gradientów) mogła być i zapewne była odmienna niż odpowiednie cechy ruchów płytkich (Fig. 6). Mechanizm ten jest poniekąd przeciwieństwem

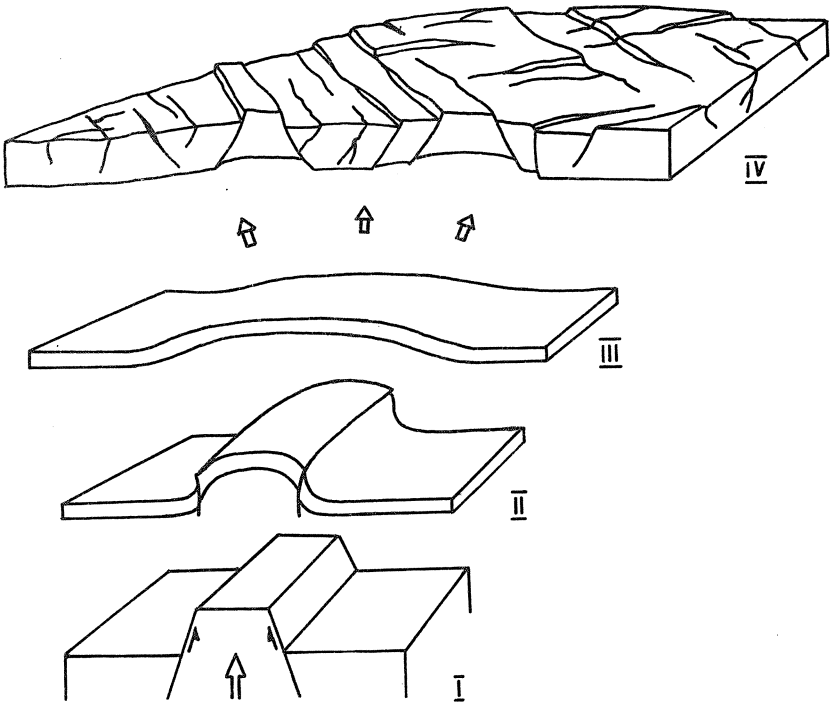

Fig. 6. Schemat uruchamiania przypowierzchniowych nieciągłości tektonicznych pod wpływem ruchu wgłębnego o odmiennej charakterystyce przestrzennej. I—IV — kolejne poziomy głębokościowe

Fig. 6. Activization of near-surface tectonic disjunctions under the influence of a deep seated movement with another spatial character. I—IV — succesive depth horizons

mechanizmu tradycyjnego nie tylko pod względem ciągłości (tu: nieciągłości) planów kierunkowych w przekroju pionowym, lecz także pod względem źródła energii, którym w koncepcji autorów jest nie jedynie ruchliwość pionowa głębszego podłoża, lecz także siła ciężkości. W miejscach gdzie dźwiganie pionowe stwarza dogodne warunki (spadek naprężeń w płaszczyźnie poziomej) do wykonania przez tę siłę pracy ścinania, można się spodziewać powstania przede wszystkim uskoków grawitacyjnych normalnych — i istotnie wydaje się, że to one kształtują styl współczesnej dynamiki Roztocza. Pewnym przyczynkiem do dyskutowanego tu zagadnienia jest obserwowana w różnych regionach świata niezależność układu epicentrów sejsmicznych od głębokich dysjunkcji (Gibowicz, 1983). Na zdarzającą się odrębność planu równowiekowych struktur nieciągłych różnej rangi (a więc także różnej sytuacji głębokościowej) zwracają uwagę m.in. Květ (1983) i Murawski (1984), nie wchodząc jednak głębiej w przyczyny tego zjawiska .

Stawiając tezę o stosunkowo płytkim uwarunkowaniu strukturalnym krótkich lineamentów satelitarnych (w dużym stopniu zbieżną z interpretacją tzw. fotolineacji Masywu Reńskiego dokonaną przez Murawskiego, 1984),

autorzy nie zamierzają negować głębokich założeń wielu rozległych elementów linijnych. Choćby sama strefa krawędziowa Roztocza, jeśli ją rozpatrywać w sposób odpowiednio zgeneralizowany, rysuje się jako wiązka lineamentów (Bażyński *et al.*, 1980; Bażyński, 1982; Bażyński *et al.*, 1984), ogólnie zbieżna z pograniczem regionalnych jednostek tektonicznych w planie podkenozoicznym (Pożaryski, 1979), podkredowym (Krassowska *et al.*, 1983), podpermskim (Żelichowski & Porzycki, 1983; Pożaryski & Dembowski, 1983) i podkarbońskim (Żelichowski, 1983), choć już nie harmonizująca z planem najgłębszym — ze współczesnym obrazem strefy Teisseyra-Tornquista w tym rejonie (Grabowska & Perchuć, 1985). Jednakże precyzja tego typu zbieżności jest tak niewielka, że jej wartość prognostyczno-strukturalna staje pod znakiem zapytania. Badacze operujący narzędziem teledetekcji dostarczyli wiele dowodów na przydatność tego narzędzia do penetracji na znaczne głębokości, wydaje się jednak, że na tym tle zrodził się też nadmierny optymizm (zob. np. Kac *et al.*, 1986), zaniedbujący niezwykłą różnorodność przyczyn zjawisk linijnych, którą podkreślają m.in. Bażyński (1982) i Graniczny (1985). W związku z tym zasługuje na uwagę fakt, że ostatnio pojawiają się doniesienia o powierzchniowym i przypowierzchniowym (spękania, sieć drenażu) uwarunkowaniu nawet regionalnych lineamentów satelitarnych (Solecki, 1987).

LINEAMENTY RADAROWE

Tu zróżnicowanie długości jest znaczniejsze (1:10), przy czym większość linii krótkich odnosi się do kierunków mniej lub bardziej poprzecznych względem głównego trendu roztoczańskiego. Lineamenty radarowe w odróżnieniu od satelitarnych nie rzedną w strefie padołów poprzecznych, lecz zagęszczają się stopniowo z SE ku NW, osiągając największą koncentrację w rejonie Frampola (Fig. 7), dość słabo odsłoniętym, za to, dzięki głębokiej dolinie Białej Łady i obecności lessu, najżywiej urzeźbionym. Ogólnie znaczna gęstość lineamentów radarowych osłabia znaczenie ich bezpośredniej koincydencji z określonymi liniami strukturalnymi, obserwowanej w przypadku niektórych uskoków. Pod względem statystycznego rozkładu kierunków linijne cechy zdjęć radarowych lepiej korelują z drobnymi niż ze średnimi uskokami (por. Fig. 4 i Fig. 8).

Głównym korelatem kierunkowym lineamentów radarowych jest jednak sieć spękań ciosowych. Co prawda przy porównaniu Figur 8 i 9 rzuca się w oczy, że najwybitniejsze maksimum kierunków radarowych, zbliżone do równoleżnikowego z odchyleniem ku ENE—WSW (60—100°), nie ma proporcjonalnego odpowiednika wśród ciosu; tam jednak, gdzie gęstość linii radarowych jest największa — w domenie Frampol i częściowo w domenie Tereszpol — spękania o kierunkach bliskich równoleżnikowym odgrywają w całym zbiorze pokaźną rolę (por. też Buraczyński, 1969, ryc. 2). Znamienne jest przy tym, że stopień skorelowania omawianej wiązki kierunków rośnie tam, gdzie wzrasta powierzchniowy udział utworów mioceńskich w stosunku do kredo-

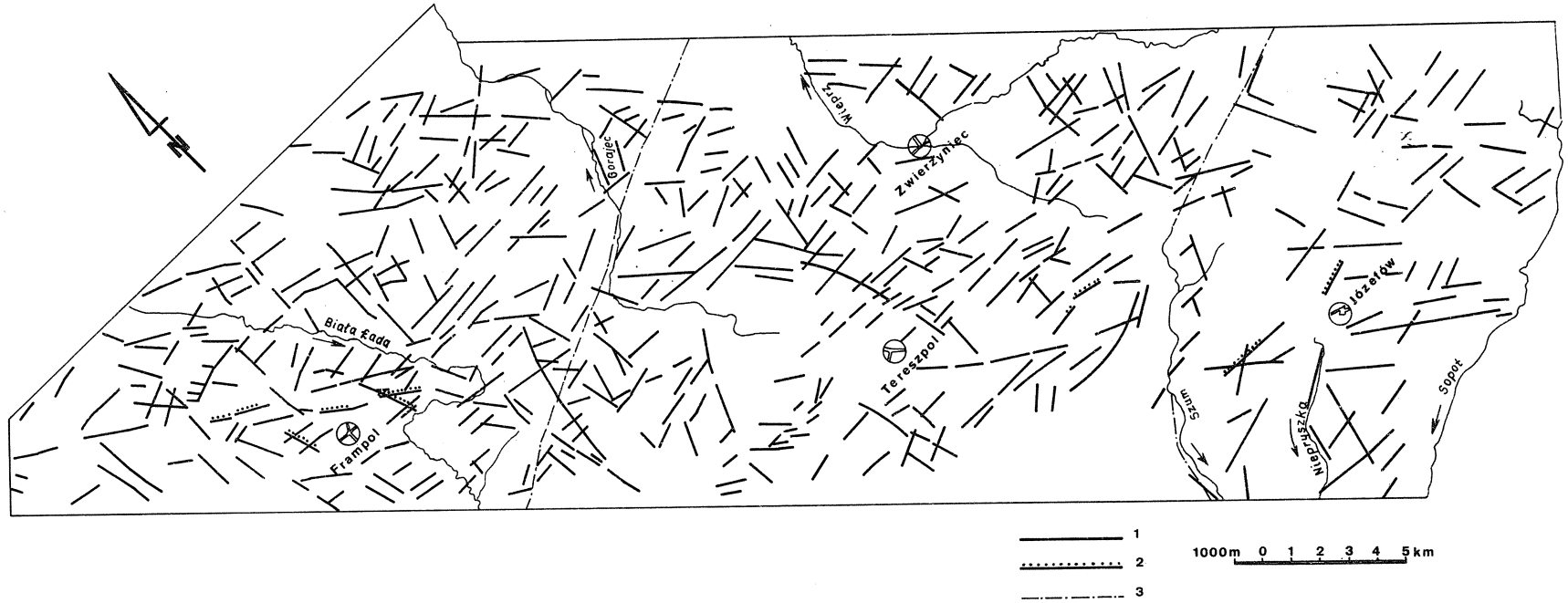

Fig. 7. Mapa lineamentów radarowych. *1* — lineamenty radarowe; *2* — koincydencja z uskokami; *3* — granice między domenami strukturalnymi

Fig. 7. Map of radar lineaments. *1* — radar lineaments; *2* — coincidence with faults; *3* — boundaries between structural domains

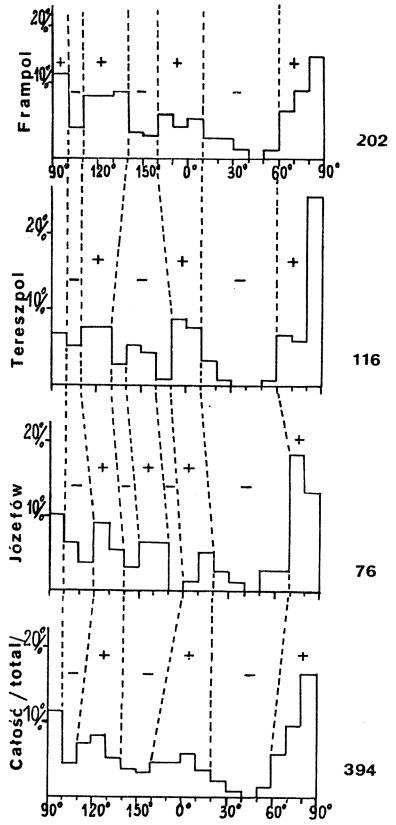

Fig. 8. Diagram kierunków lineamentów radarowych. Liczby obok figur oznaczają liczbę danych

Fig. 8. Diagram of directions of radar lineaments. The numbers denote number of data

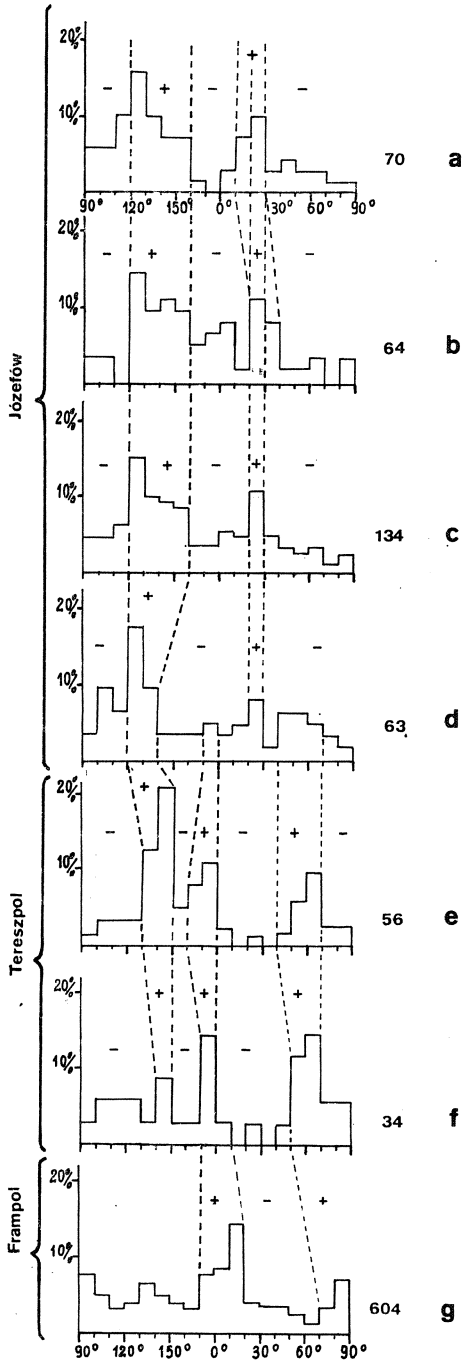

Fig. 9. Diagram kierunku ciosu. *a* — krawędź zewnętrzna; *b* — krawędź wewnętrzna; *c* — suma *a* i *b*; *d* — rejon Górecka; *e* — rejon Tereszpola (całość); *f* — rejon Tereszpola (miocen); *g* — rejon Frampola

Fig. 9 Diagram of directions of joints. *a* — lower escarpment; *b* — upper escarpment; *c* — sum of *a* and *b*; *d* — region of Górecko; *e* — region of Tereszpol (total); *f* — region of Tereszpol (Miocene); *g* — region of Frampol

wych – w międzyrzeczu Szum – Łada, co widać zwłaszcza przy wyodrębnieniu z domeny Tereszpol części ciosu obserwowanej w miocenie (Fig. 9).

Również gromadzone od dawna dane innych autorów o spękaniach kredy Roztocza i Lubelszczyzny (Czyżewski, 1929; Malicki, 1935; Jahn, 1956; Buraczyński, 1969, 1974; Muchowski, 1977) wskazują, że kierunki równoleżnikowe są tu prawie nieobecne. Strukturalne kierunki równoleżnikowe, będące wyrazem tzw. kierunku wołyńskiego (zaznaczonego w przebiegu Grzędy Sokalskiej), są zdaniem Jahna (1956, zob. zwłaszcza ryc. 81 i 92) odczuwalne w rzeźbie Roztocza głównie na wschód od strefy padołów poprzecznych, a więc akurat tam, gdzie lineamenty radarowe (w tej liczbie okołorównoleżnikowe) są rzadsze. Płytkie krótkie formy erozyjne o kierunkach równoleżnikowych, związane z odwodnieniem powierzchniowym ku dolinom Białej Łady, Gorajca, Szumu i Sopotu, są natomiast pospolite na całym opisywanym odcinku strefy krawędziowej Roztocza. Jeżeli mają one nawet predyspozycje w strukturze wgłębnej, to tylko w znaczeniu bardzo ogólnym – poprzez dziedziczenie regionalnego planu budowy przez kolejne piętra strukturalne i jego pośredni wpływ na ukształtowanie powierzchni. Wpływ ten nie polega na współczesnym odnawianiu równoleżnikowych dyslokacji podłoża: dynamika współczesna jest przywiązana do kierunku NW–SE (por. Buraczyński, 1984), czego dowodem są m. in. niemal wyłącznie "roztoczańskie" kierunki szypotów na rzekach spływających z krawędzi Roztocza, pomierzone przez pierwszego współautora w korytach Tanwi, Łosinieckiego Potoku, Jelenia, Sopotu, Nepryszki i Szumu.

Podane fakty prowadzą do wniosku, że geneza lineamentów radarowych o kierunkach okołorównoleżnikowych wiąże się z czynnikami w zasadzie powierzchniowymi: z drobnymi formami rzeźby i spękaniami ciosowymi w utworach znajdujących się na powierzchni lub pod niewielkim przykryciem. Spękania ciosowe zapewne odgrywają główną rolę w wytwarzaniu pozostałych ugrupowań cech linijnych w obrazie radarowym, których kierunki dość dobrze korelują z kierunkami ciosu (por. Fig. 8 i 9), wyraźnie lepiej niż kierunki satelitarne (Fig. 3). Najbardziej wymowna jest przy tym nie ogólna zbieżność kierunków, lecz skorelowanie ich zmian w poszczególnych domenach. I tak, cios typu NNE–SSW w domenie Józefów, nie mający odpowiednika w obrazie satelitarnym, wyraźnie odwzorowuje się na zdjęciach radarowych; w domenach Tereszpol i Frampol na jego miejsce pojawia się cios mniej więcej południkowy i analogiczna zmiana zachodzi wśród kierunków radarowych. Pewne odbicie w ewolucji tych kierunków ma też względny deficyt spękań typu NNW–SSE, nasilający się ku domenie Frampol. Ogólne ciążenie ciosu podłużnego ku położeniom bardziej równoleżnikowym ma swój odpowiednik w analogicznej tendencji "podłużnych" lineamentów radarowych.

Można też wskazać pewne braki we wzajemnym skorelowaniu kierunków ciosu i liniowości obrazu radarowego. Zdaniem autorów jednak, stopień tego skorelowania przy jednoczesnym braku czytelnego związku kierunkowego z innymi zjawiskami strukturalnymi (prócz drobnych uskoków, Fig. 4a, które

są w większości predysponowane przez cios) jest wystarczający, by postawić tezę, że systemy ciosowe są podstawą ukierunkowania refleksów radarowych. Nie oznacza to bezpośredniego odwzorowania poszczególnych powierzchni czy nawet wiązek spękań, w takim przypadku bowiem gęstość lineamentów byłaby ściśle zależna od stopnia odsłonięcia spękanego podłoża przedczwartorzędowego. Skoro przynajmniej niektóre linie radarowe w przedziale okołorównoleżnikowym są uwarunkowane drobnymi formami rzeźby, i skoro na Roztoczu istnieje zbieżność co najmniej podrzędnych kierunków reliefu i kierunków ciosu (zob. np. Jahn, 1956; Buraczyński, 1969, 1974; Muchowski, 1977), to jako najbardziej prawdopodobny nasuwa się pogląd, że reprodukowanie głównych trendów sieci ciosowej przez fale radarowe następuje za pośrednictwem efektów morfologicznych anizotropii spękaniowej. Efekty te na Roztoczu miewają formę wyraźnych, linijnych zagłębień (nad szczelinami poszerzonymi neotektonicznie i krasowo — Wilczyński, 1962; Harasimiuk & Henkiel, 1975; por. też Czyżewski, 1929), mogą też reprezentować zależność pośrednią, np. między liniowymi przepływami wód szczelinowych (por. Malinowski, 1973) a procesami rzeźbotwórczymi. Zbliżone, drugorzędne deniwelacje wiążą się miejscami z działaniem niewielkich uskoków i tam obserwuje się bezpośrednią koincydencję omawianych lineamentów i linii uskokowych (Tereszpol). Jednakże główne, duże progi morfostrukturalne systemu podłużnego i w tym przypadku nie odzwierciedliły się z proporcjonalnym natężeniem, podobnie jak i większość dyslokacji o innych kierunkach (Fig. 7).

Morfologiczne, a w każdym razie raczej płytkie uwarunkowanie lineamentów radarowych było podkreślane przez wielu znawców teledetekcji geologicznej (Mekel, 1972; Sabins, 1978; Graniczny, 1981; Ostaficzuk, 1981; Doktór & Graniczny, 1982; Wilczyński, 1983), jednakże niekiedy ci sami badacze stwierdzali daleko idącą zbieżność sieci lineamentów radarowych i satelitarnych, którym na ogół przypisuje się głębsze pochodzenie. Z obserwacji autorów wynika, że liniowe cechy obrazów radarowych mają genezę zdecydowanie płytką, a ewentualne zbieżności z innymi rodzajami lineamentów są wynikiem tego, że predysponujące je zjawiska strukturalne również bywają zapisane w rzeźbie. Trzeba przy tym zwrócić uwagę na konsekwencje faktu, że sama technika obrazowania radarowego uprzywilejowuje drobne formy rzeźby, o ile są one uporządkowane kierunkowo. W rezultacie kierunki odpowiadające głównej sieci drenażu mogą być w obrazie radarowym, jako lineamenty, niemal nieobecne (por. Fig. 7), względnemu wzmocnieniu natomiast ulegną kierunki w stosunku do nich poprzeczne, pokrywające się z osiami dopływów drugiego i dalszych rzędów lub tylko kierunków okresowego spływu wód. W warunkach usystematyzowanej sieci drenażu (np. typu pierzastego — Klimaszewski, 1978) może to doprowadzić do takiegoż uporządkowania lineamentów (por. Fig. 12 w pracy Muchowskiego, 1977), również tych pozbawionych założeń strukturalnych (Fig. 10). Ponieważ zaś cieki dalszych rzędów mają często układ pierzasty (Fig. 10), utworzone tak układy linii będą miały skłonność do przyjmowania wzorów kulisowych, które mogą nasuwać fałszy-

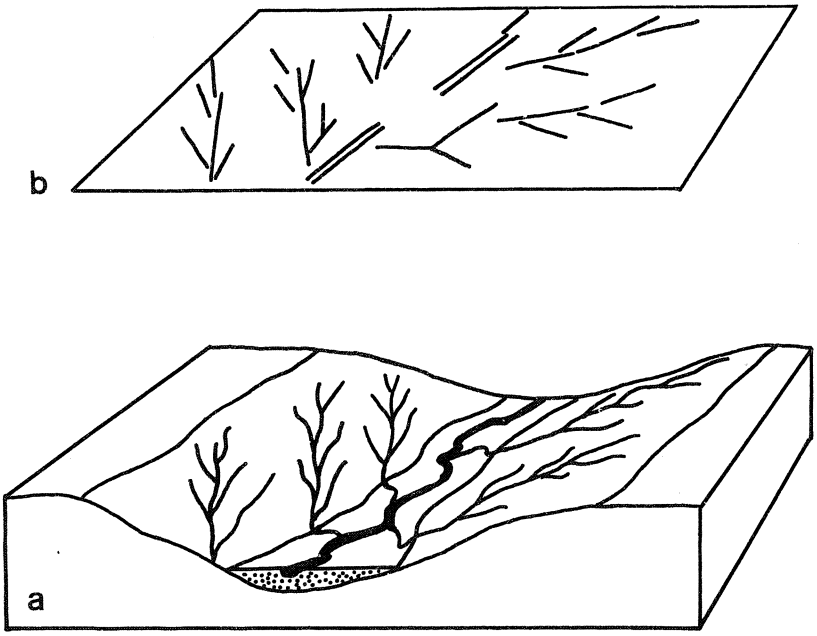

Fig. 10. Systematyzacja kierunkowa lineamentów radarowych w wyniku wyrazistego odwzorowania drobnych form rzeźby w warunkach uporządkowanej sieci drenażu. *a* — powierzchnia terenu, rzeka główna i jej dopływy o układzie pierzastym (wcięcia erozyjne systemu dopływów nie oznaczone); *b* — obraz lineamentów na zdjęciu radarowym

Fig. 10. Directional systematization of radar lineaments due to strong expression of minor relief forms in terms of regular drainage pattern. *a* — the surface, main river and its tributaries in feather-like arrangement (erosional features of tributaries not shown); *b* — resulting radar image

we sugestie interpretacyjne. Autorzy przypuszczają, że niektóre z lokalnych układów kulisowych w obrazie radarowym zbadanego obszaru (np. układ w okolicy Goraja, Fig. 7) mogą mieć takie pochodzenie.

PODSUMOWANIE WNIOSKÓW

1. Krótkie lineamenty satelitarne na zbadanym odcinku Roztocza odzwierciedlają kierunki przede wszystkim średnich uskoków w miocenie i w stropie kredy, często jednak nie pokrywają się z liniami uskokowymi. Dotyczy to nawet głównych, współcześnie czynnych dyslokacji krawędziowych o głębokim założeniu.

2. Rozmieszczenie (gęstość) lineamentów satelitarnych jest funkcją młodej ruchliwości tektonicznej, głównie wznoszenia, które pobudza grawitacyjne odmładzanie starszych powierzchni nieciągłości.

3. Lineamenty radarowe mają pochodzenie jeszcze płytsze: wiążą się głównie z siecią spękań ciosowych uwydatnionych przez drobne formy rzeźby, z drobnymi uskokami, a po części zapewne z wydłużonymi elementami morfologicznymi pozbawionymi założeń strukturalnych.

4. Zaznaczające się na Roztoczu mechanizmy wytwarzania linijnej cechy powierzchniowej nie będącej bezpośrednim odtworzeniem śladu uskoku, uruchamiania płytkich nieciągłości przez wpływy wgłębne bez zachowania planu kierunkowego tych wpływów, wreszcie selektywnego porządkowania linijności obrazu radarowego, zapewne są obecne również na innych obszarach.

LITERATURA CYTOWANA – REFERENCES

Baumgart-Kotarba, M., 1981. Ruchy tektoniczne na wschodnim Podhalu w świetle analizy czwartorzędowych teras doliny Białki Tatrzańskiej i lineamentów uzyskanych z obrazu satelitarnego. Tectonic movements in eastern Podhale in the light of an analysis of Quaternary terraces of the Białka Tatrzańska valley and the lineaments from satellite image. *Prz. Geogr.*, 53: 725–736.

Bażyński, J., 1980. Otrażenije sowriemiennych tiektoniczeskich dwiżenij na kosmiczeskich snimkach. *Mietody obrabotki i intierprietacyi skaniernych dannych.* Gieograficzeskij Institut, Brno, pp. 9–19.

Bażyński, J., 1982. Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. *Instrukcje i metody badań geologicznych*, 44. Wyd. Geol., Warszawa.

Bażyński, J., Daniel-Danielska, B. & Graniczny, M., 1980. *Mapa fotolineamentów Roztocza.* Archiwum Instytutu Geologicznego, Warszawa, (niepublikowane – unpublished).

Bażyński, J., Doktór, S. & Graniczny, M., 1984. *Mapa fotogeologiczna Polski, 1 : 1.000.000. Fotogeologic map of Poland.* Wyd. Geol., Warszawa.

Bażyński, J. & Graniczny, M., 1978. Fotolineamenty i ich znaczenie w geologii. Photolineaments and their geological significance. *Prz. Geol.*, 26: 288–296

Buraczyński, J., 1969. Zarys geomorfologii Roztocza Zachodniego. Essai geomorphologique du Roztocze Occidental. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska*, Sec. B, 22 (44): 77–115

Buraczyński, J., 1974. Zarys geomorfologii Roztocza Rawskiego. Essai geomorphologique du Roztocze Rawskie. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska*, Sec. B, 29 (3): 48–76.

Buraczyński, J., 1984. Wpływ tektoniki na rozwój dolin strefy krawędziowej Roztocza. The influence of neotectonics on development of the escarpment zone of the Roztocze. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 54: 209–225.

Butkiewicz, M., 1973. *Geologia okolic Józefowa Lubelskiego na Roztoczu Środkowym.* Archiwum Instytutu Geologii Podstawowej Uniw. Warsz., Warszawa (niepublikowane – unpublished).

Czyżewski, J., 1929. Z badań nad spękaniami kredy senońskiej południowego Roztocza. Sur les diaclases dans le Senonien du Roztocze. *Prz. Geogr.*, 9: 1–12.

Dąbrowski, A. & Kaczkowska, Z., 1962. *Mapa grawimetryczna Polski 1 : 1.000.000.* Wyd. Geol., Warszawa.

Doktór, S. & Graniczny, M., 1982. Geologiczna interpretacja zdjęć satelitarnych i radarowych wschodniej części Karpat. Geological interpretation of satellite and radar imagery of the eastern part of the Carpathians. *Kwart. Geol.*, 26: 231–245.

Gibowicz, J., 1983. Wstrząsy sejsmiczne w Polsce (bez Karpat i Sudetów) i ich związek z budową głębszego podłoża. Earthquakes in Poland (outside Carpathians and Sudetes) and their relation to the deep structure. *Kwart. Geol.*, 27: 395–398.

Grabowska, B. & Perchuć, E., 1985. Gravimetric-seismic model of the Earth's crust in the region of southeastern Poland. *Publ. Inst. Geoph. Pol. Acd. Sci.*, A-16 (175): 43–56.

Graniczny, M., 1981. *Charakterystyka strukturalna i hydrodynamiczna Bełchatowskiego Obszaru*

Węglowego w świetle badań teledetekcyjnych. Archiwum Instytutu Geologicznego, Warszawa (niepublikowane — unpublished).

Graniczny, M., 1985. Wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych i lotniczych na przykładzie Bełchatowskiego Obszaru Węglowego. Results of interpretation of satellite and aerial photos at the example of the Bełchatów Coal Region. *Prz. Geol.*, 33: 21—27.

Harasimiuk, M. & Henkiel, A., 1975 Przejawy młodoczwartorzędowych ruchów tektonicznych w strefie krawędziowej Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. The manifestations of the late Quaternary tectonic movements in marginal zone of Lublin Highland and Roztocze. *Materiały z sympozjum: Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*, 1. Wyd. Geol., Warszawa, pp. 231—238.

Harasimiuk, M., Henkiel, A. & Pękala, K., 1971. Rola neotektoniki w rozwoju współczesnych procesów krasowych SW krawędzi Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Tectonic influences on the development of recent karst processes in boderland of Lublin Upland and Roztocze. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska*, Sec. B, 26: 203—218.

Hobbs, W. M., 1904. Lineaments of the Atlantic border region. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 15: 483—508.

Jahn, A., 1956. Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd. Geomorphology and Quaternary history of Lublin Plateau. *Pr. Geogr.*, 7: 453 pp.

Jarosiński, M., 1984. *Budowa geologiczna okolic Frampola na Roztoczu.* Archiwum Instytutu Geologii Podstawowej Uniw. Warsz., Warszawa (niepublikowane — unpublished).

Jaroszewski, W., 1977. Sedymentacyjne przejawy mioceńskiej ruchliwości tektonicznej na Roztoczu Środkowym. Sedimentary evidence for Miocene tectonic activity in the Central Roztocze. *Prz. Geol.*, 25: 418—427.

Jaroszewski, W., 1981. *Tektonika uskoków i fałdów.* Wyd. Geol., Warszawa, 360 pp.

Jaroszewski, W., 1984. *Fault and Fold Tectonics.* Elllis Horwood, Polish Scientific Publishers, New York, Warszawa, 565 pp.

Kac, J. G., Poletajew, A. J. & Rumiancewa, E. F., 1986. *Osnowy linieamentnoj tiektoniki.* Niedra, Moskwa, 144 pp.

Kautzleben, H. & Bankwitz, P., 1979. Zu einigen Fragen der Interpretation aerokosmischer Aufnahmen. *Z. Geol. Wiss.* 7: 55—74.

Kibitlewski, S. & Daniel-Danielska, B., 1987. Remote sensing methods in geological research of the Lublin Coal Basin, SE Poland. Remote Sensing for Resources Development and Environmental Managament. *Proceedings of the 7-th Int. Symp. on Remote Sensing, Enschede*, pp. 619—624.

Klimaszewski, M., 1978. *Geomorfologia.* PWN, Warszawa, 1098 pp.

Krassowska, A., Niemczycka, T. & Żelichowski, A. M., 1983. Mapa strukturalno-geologiczna bez utworów młodszych od jury. In: Żelichowski, A. & Kozłowski, S. (eds.), *Atlas geologiczno--surowcowy obszaru lubelskiego.* Wyd. Geol., Warszawa.

Květ, R., Čim se liši geotektonika od strukturni geologie; poruchy primárni a sekundárni. What are differences between geotectonics and structural geology; primary and secondary ruptures. *Miner. Slov.*, 15: 373—378.

Malicki, A., 1935. Spękania kredy na północnym Roztoczu. Les diaclases du Cretace dans la Roztocze Septentrionale. *Czas. Geogr.*, 13: 104—106.

Malinowski, J., 1973. Charakterystyka hydrogeologiczna źródeł Roztocza Zachodniego. Hydrogeological characteristics of sources in the Western Roztocze Region. *Biul. Inst. Geol.*, 277: 87—105.

Maruszczak, H. & Wilgat, T., 1956. Rzeźba strefy krawędziowej Roztocza Środkowego. Le relief de la zone lisiere du Roztocze Central. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska*, Sec. B. 10: 45—80.

Mekel, J. F., 1972. *The geological Interpretation of Radar Images. Textbook of Photo-Interpretation*, International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, VIII Enschede, 63 pp.

Muchowski, J., 1977. Młode wcięcia erozyjne południowej strefy krawędziowej Wyżyny Lubelskiej, ich geneza, wiek i dynamika rozwoju. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, 22: 118—152.

Murawski, H., 1984. Lineationen und Lineamente in Gebirgskörper Mitteleuropas. *Mitt. Geol. Paläont. Inst.*, 56: 185–204.

Ney, R., 1966. O wgłębnym przekroju części synklinorium lubelskiego i związanych z nimi objawami ropo-gazonośnymi. *Spraw. Pos. Komis. Nauk. Oddz. PAN w Krakowie*, 9 (2): 520–524.

O'Leary, D. W., Friedman, J. D. & Pohn, H. A., 1976. Lineaments, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87: 1463–1469.

Ostaficzuk, S., 1981. Lineamenty jako odwzorowanie zjawisk tektonicznych na tle wybranych przykładów z Polski. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, 195–254.

Pawłowski, S., 1938. Charakterystyka morfologiczna południowej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. Sur la morphologie de la lisière méridionale du Plateau de Lublin. *Bull. Int. Polon. Acad. Sc., Cl. Math.-Nat.*, Ser. A: 366–372.

Pożaryski, W., 1979. *Geological Map of Poland and Adjoining Countries without Cainozoic Formations.* Instytut Geologiczny, Warszawa.

Pożaryski, W. & Dembowski, Z., 1983. *Mapa geologiczna Polski i krajów ościennych bez utworów kenozoicznych, mezozoicznych i permskich*, 1 : 1 000 000. Instytut Geologiczny. Wyd. Geol., Warszawa.

Rutkowski, J. & Sokołowski, T., 1985. Anomalia Róży koło Dębicy – problem kompleksowej interpretacji geologicznej obrazów satelitarnych. *Pr. Nauk. Uniw. Śląsk.*, 8 (18): 83–94.

Sabins, F. F. jr., 1978. *Remote Sensing Principles and Interpretation.* Freeman, San Francisco, 426 pp.

Skorupa, J., 1974. *Mapa sejsmiczna głębokiego podłoża Polski. 1 : 500 000.* Wyd. Geol., Warszawa.

Solecki, A., 1987. *Tektonika dysjunktywna i jej wpływ na warunki występowania kopalin w synklinorium północnosudeckim.* Archiwum Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław (niepublikowane – unpublished).

Sonder, R. A., 1938. Die Lineamenttektonik und ihre Probleme. *Eclogae Geol. Helv.*, 31 (1): 199–238.

Szczęsny R., 1987. Geologiczna interpretacja wybranego lineamentu z Podhala. Geologic interpretation of a lineament from Podhale. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, 2: 401–410

Szerman, S. I., Borniakow, C. A. & Buddo, W. J., 1983. *Oblasti dinamiczeskogo wlijanija rozlamow.* Akademija Nauk, Nowosybirsk, 112 pp.

Wilczyński, M., 1962. Fotointerpretacja geologiczna zdjęć lotniczych na arkuszu Cieszanów. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, 2: 196–205.

Wilczyński, M., 1983. *Metodyka interpretacji zdjęć radarowych w geologii.* Archiwum Instytutu Geologicznego, Warszawa (niepublikowane – unpublished).

Woźniakowska, A., 1977. *Geologia okolic Tereszpola.* Archiwum Instytutu Geologii Podstawowej Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa (niepublikowane – unpublished).

Znosko, J., 1974. Polish Carpathian foreland. In: *Tectonics of the Carpathian Balkan Regions.* Bratislawa, pp. 431–435.

Zwiagielski, A. A., 1978. *Metodyka fotointepretacji geologicznej.* Wyd. Geol., Warszawa, 83 pp.

Żelichowski, A., 1972. Budowa geologiczna i rozwój obszaru pomiędzy Górami Świętokrzyskimi i Bugiem. Evolution of the geological structure of the area between the Góry Świętokrzyskie and the river Bug. *Biul. Inst. Geol.*, 263: 92–97.

Żelichowski, A., 1983. Mapa strukturalno-geologiczna bez utworów młodszych od dewonu. In: Żelichowski, A. & Kozłowski, S. (eds.) *Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego.* Wyd. Geol., Warszawa.

Żelichowski, A. & Kozłowski, S. (eds.), 1983. *Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego.* Wyd. Geol., Warszawa.

Żelichowski, A. & Porzycki, J., 1983. Mapa strukturalno-geologiczna bez utworów młodszych od karbonu. In: Żelichowski, A. & Kozłowski, S. (eds.), *Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego.* Wyd. Geol., Warszawa.

Summary

ON THE NATURE OF SOME LINEAMENTS (EXEMPLIFIED BY THE ROZTOCZE RIDGE, SE POLAND)

Wojciech Jaroszewski & Anna Piątkowska

The authors have investigated the geological nature of short lineaments (from a half up to a few km) recognized on Landsat images 1 : 250 000 (false colour composite) as well as on radar images of the Toros system 1 : 100 000. Part of the border zone between the Miocene Carpathian foredeep and the belt of Southern Polish highlands was used as the test area (Fig. 1) – a region of a platform Mesozoic cover overlying folded Palaeozoic rocks. The border zone is marked by deep-founded dislocations, which were active at least as soon as the sedimentation of the litoral belt of Badenian and Sarmatian deposits. These dislocations mostly reveal themselves in morphotectonic escarpments, along which a recent subsidence of the fore-Carpathian area relative to the highland region is taking place. The main course of the escarpments is NW–SE, but at the western edge of the area (the structural domain named Frampol) they turn sharply to the course WNW–ESE.This turn approximately corresponds to a similar change in the structural trends of the Mesozoic and Palaeozoic basement.

The short satellite lineaments (Fig. 2) do not coincide with the main morphotectonic elements nor with the majority of medium-range faults, although they exhibit an approximate directional correspondence to both of them (comp. Figs. 3 and 4b). The above mentioned turn of surficial escarpments and deep seated longitudinal structures, however, is not reflected in directions of the satellite lineaments; nor are the directions of the principal cross faults in the basement. It may be concluded, then, that the lineaments under discussion do not reflect topographic as well as deep seated structures, but primarily shallow faults in the Miocene and in the top of the Cretaceous. Some mechanisms which create the lineaments by an indirect action of fault movement can be suggested to explain the lack of coincidence between satellite lines and fault lines (Fig. 5).

A recent vertical activity of the border zone stimulated an increase in density of the satellite lineaments, but at the same time the reactivated basement faults was not reproduced on the surface. Instead of this traditional mechanism, an activization of surface and near-surface disjunctions under the influence of dynamic pulses from the depth is proposed by the present authors, regardless of the azimuthal arrangement of structures transmitting the pulses (Fig. 6).

Regarding radar lineaments (Fig. 7), statistical distribution of their azimuths (Fig. 8) is fairly well correlated with the distribution of joints (Fig. 9) as well as that of minor faults (Fig. 4a), not only in the global sense, but also as

regards their geographical evolution (comp. Figs. 8 and 9a). The conclusion of the authors is, that radar lineaments are conditioned mainly just by those shallow structural phenomena, not immediately, but through some minor forms of relief following the fractures. Part of the lineaments is probably predisposed by small, elongated morphological elements alone, with no structural background. The number and distinctness of such elements can easily be found to dominate in a radar image over those of greater forms of relief. In favourable topographic conditions (for example, with a feather--like drainage net) they can be expressed as regular geometrical patterns (Fig. 10), which could suggest a false (tectonic) origin.