

Barbara Daniel-Danielska

ZDJĘCIE SATELITARNE JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O GEOLOGII PÓLNOCNO-WSCHODNIEJ POLSKI

WSTĘP

Stosowanie metod teledetekcyjnych w badaniach geologicznych w Polsce ma już długą historię. Od chwili uzyskania pierwszych zdjęć ze sztucznych satelitów mija 10 lat. W wyniku interpretacji zdjęć satelitarnych uzyskano potwierdzenie występowania wielu znanych uskoków, przy czym można było dokonać korekty ich kierunku oraz często je przedłużyć. Stwierdzono, że analiza zdjęć satelitarnych w obszarach odkrytych, prowadzona pod kątem śledzenia zjawisk tektonicznych, jest bardzo efektywna, szczególnie podczas wstępnych badań geologicznych. Umożliwia bowiem także poznanie elementów nowych, które mogą okazać się istotne dla badanego obszaru i ułatwić szczegółowe jego opracowanie. Przeprowadzono również próbę analizy zdjęć satelitarnych z obszaru Polski północno-wschodniej, gdzie występuje seria osadowa o dużej miąższości, a charakter obserwowanych zjawisk wydaje się nie mieć związku z tektoniką.

CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW I OPIS METODY

Podstawowym materiałem analizy były zdjęcia wielospektralne satelity Landsat — zarówno czarno-białe wyciągi spektralne z poszczególnych kanałów, jak również kompozycje barwne w kolorach nierzeczywistych oraz kompozycje uzyskane na projektorze wielospektralnym. Analizowano trzy sceny — wszystkie z Landsata-2:

- a) scena 2155-08503 z dnia 26.06.1975,
- b) scena 2191-08500 z dnia 1.08.1975,
- c) scena 2857-08304 z dnia 28.05.1977.

Najbardziej przydatne są kompozycje barwne w kolorach nierzeczywistych w skali 1:250 000, i taki materiał Instytut Geologiczny uzyskał

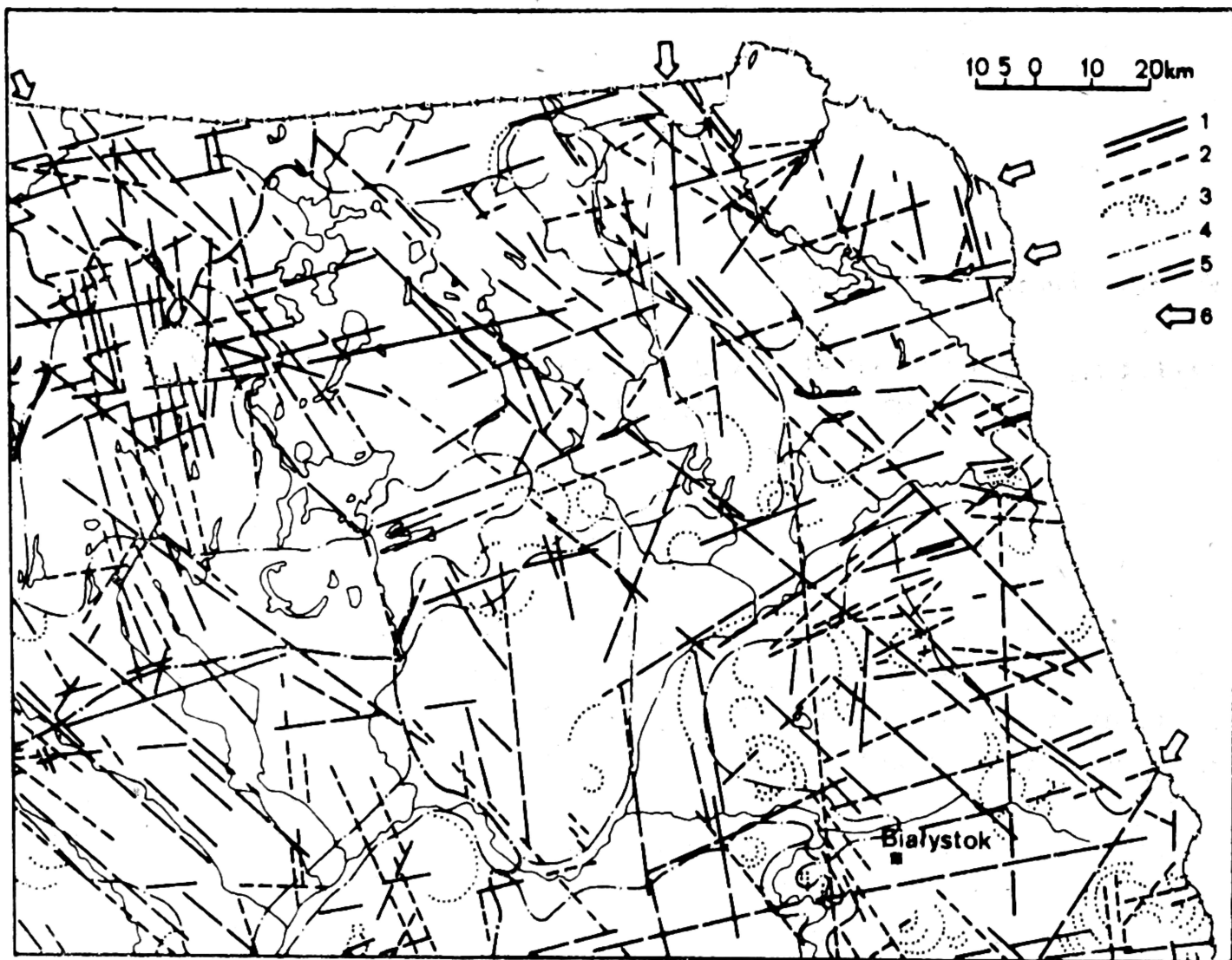


Fig. 1

Mapa fotolinentów północno-wschodniej Polski: 1 — fotolinenty wyraźne, 2 — fotolinenty mniej wyraźne, 3 — anomalie koliste, 4 — granica dzieląca obszary o odmiennych fototonach, 5 — granice regionów fizycznogeograficznych, 6 — główne kierunki nieciągłości w podłożu

Photolineaments of North-East Poland: 1 — distinct photolineaments, 2 — other photolineaments, 3 — circular features, 4 — boundary between areas of different photostructure, 5 — physiographical units, 6 — photolineaments which follow known directions of discontinuity in deep basement

z EROS Data Center w Sioux Falls (USA) jedynie dla dwóch scen — z czerwca 1975 i maja 1977.

Obraz powierzchni tego regionu Polski jest bardzo zróżnicowany. Kształtują go trzy główne składowe pokrycia terenu: szata roślinna o dużej różnorodności, zmienne kompleksy glebowe oraz powierzchnie wodne. Na zdjęciach zatem dominuje kolor czerwony, będący wskaźnikiem wegetacji (należy podkreślić, że szata roślinna stanowi utrudnienie w procesie interpretacji geologicznej).

Porównując tę scenę z materiałami obejmującymi obszary dalej na południe, tzn. Kotlinę Biebrzy (scena nr E-2857-08310), oraz na zachód — obejmującymi Pojezierze Mazurskie (scena nr E-2858-08362) — stwierdzono, że zdjęcia wykonane w maju charakteryzują się lepszym

kontrastem pomiędzy poszczególnymi elementami kształtującymi obraz powierzchni. Ponadto stwierdzono również wzrost ilości informacji w przypadku wykorzystania zdjęć powtarzalnych.

Wyciągi spektralne — materiał charakterystyczny dla obrazowania wielospektralnego — służyły do zestawiania kompozycji na projektorze wielospektralnym (typ I²S).

Wykonano kilka kompozycji barwnych zestawiając różne kombinacje kanałów i filtrów. Korzystano przy tym zarówno z diapozytywów, jak i negatywów.

Dzięki zastosowaniu projektora wielospektralnego, szczególnie dla sceny z czerwca 1975 r., uzyskano obraz o wzmocnionych różnicach fototonalnych pomiędzy elementami o odmiennych charakterystykach spektralnych.

Podczas analizy czarno-białych odbitek z kanału 5 i 7 oraz analizy kompozycji barwnych w kolorach nierzeczywistych zauważono, że każdy rodzaj materiału podkreśla nieco inne cechy wzbogacające interpretację, a informacje te mogą się uzupełniać.

PRÓBA INTERPRETACJI KRAJOBRAZU

Satelitarny obraz powierzchni zezwala przede wszystkim na jednoczesny przegląd dużego obszaru — w tym przypadku o randze regionu. Zdjęcie satelitarne ułatwia prześledzenie organizacji przestrzennej elementów rzeźby, stref geomorfologicznych, a wraz z tym — występujących różnych typów krajobrazu.

Obserwując obraz współczesnej powierzchni zauważyć można wśród ciemnych plam jezior wyraźną granicę, przebiegającą z północy od Wiżajn przez jezioro Rospuda na południe oraz dalej — w pobliżu Olecka, Rajgrodu — i na zachód w kierunku Grajewa. Nie jest to jednak granica litologiczna, lecz obszarów różniących się strukturą własnościową, ukształtowana jeszcze w XV wieku pomiędzy Krzyżakami i Litwinami (J. Wiśniewski, 1964). Układ taki przetrwał do 1945 r. jako wschodnia granica Prus. Na zachód od niej dominującym typem własności były wielkie majątki, które po przeprowadzeniu reformy rolnej przekształcono również w duże formy własnościowe — Państwowe Gospodarstwa Rolne. Granica ta w południowej części — od Rajgrodu do Grajewa — pokrywa się z przebiegiem strefy marginalnej fazy leszczyńskiej zlodowacenia bałtyckiego (A. Ber, 1974).

Oprócz wyżej opisanej granicy, czytelnej na obrazie satelitarnym, w obrazie regionalnym zarysowuje się pewien układ strefowy pasów geomorfologicznych i występujących tu typów krajobrazu. Układ taki do-

strzec można zarówno w kierunku równoleżnikowym, jak i niemal południkowym. Charakterystyczne dla pojezierzy nagromadzenie jezior rynnowych występuje w obrębie strefy, której oś przebiega z SW ku NE. Do tego kierunku nawiązują na wielu odcinkach przebiegi stref marginalnych ostatniego zlodowacenia. Obszary przyległe od północy i od południa — są pozbawione jezior. Strefa nagromadzenia jezior, tak różna od obszaru położonego dalej na południe, stanowi obszar o odmiennej genezie. Ukształtowana została w warunkach ostatniego zlodowacenia. Natomiast obniżenie Kotliny Biebrzy nie było w tym okresie zlodowaczone (R. Galon, 1972). Prześledzenie granicy, jaką jest strefa marginalna ostatniego zlodowacenia, możliwe było na zdjęciach tylko fragmentarycznie (B. Daniel-Danielska, 1983).

Oprócz strefowości równoleżnikowej, tj. oprócz pasów geomorfologicznych, czytelne są na zdjęciach strefy o odmiennych typach krajobrazu — w kierunku z zachodu na wschód. I tak kolejno: od zachodu występuje strefa jezior rynnowych o przebiegu NW—SE, dalej — rozległa strefa zajęta przez jeziora Śniardwy i Mamry. Obie strefy są odmienne w krajobrazie pojezierza. Są to: Pojezierze Mrągowskie i Kraina Wielkich Jezior (J. Kondracki, 1972). Dalej na wschód — struktura drenażu wskazuje na wzniesienie — to Wzgórza Szeskie otoczone dolinami rzek Gołdapi i Węgorapy oraz rynnami kilku jezior. Analizując na zdjęciu obszar na południu dostrzega się półkoliste elementy powierzchni wskazujące na występowanie form i utworów marginalnych, a dalej — odmienną strukturę obrazu będącą wynikiem zróżnicowanego krajobrazu młodoglacjalnego urozmaiconego jeziorami Pojezierza Ełckiego i Pojezierza Rajgrodzkiego.

Dalej na wschód bardzo wyraźnie zmienia się struktura krajobrazu, jak również zdjęcia. Krajobraz jest mniej zróżnicowany, prawie nie zaburzony jeziorami, przecięty dość wyraźnymi formami dolinnymi. Doliny rzek Rospudy i Czarnej Hańczy podkreślają dominujący na Równinie Augustowskiej kierunek NW—SE, zmieniony jedynie w północno-wschodnim krańcu kraju. Wyraźnie urozmaicony krajobraz jest czytelny w północnej części tego obszaru — w obrębie Pojezierza Suwalskiego.

Południową część Równiny Augustowskiej porastają kompleksy leśne. Wyraźna zmiana fototonu na zdjęciu satelitarnym w części południowej puszczy wskazuje na zmianę składu gatunkowego drzew. Niewątpliwie ma to związek bezpośrednio z typem utworów powierzchniowych i warunkami hydrogeologicznymi, bowiem utwory piaszczysto-żwirowe sandru augustowskiego porasta drzewostan iglasty, na południu zaś puszcza wkracza na rozległą, zabagnioną i podmokłą równinę Kotliny Biebrzy.

W obrębie tej kotliny, której ogólny przebieg jest z NE ku SW, są wyraźnie czytelne zróżnicowania fototonalne będące wynikiem różnic kraj-

obrazowych. Otóż wyraźnie są czytelne fragmenty zdenudowanej wysoczyzny morenowej starszego zlodowacenia — najczęściej uprawiane rolniczo. Natomiast dalej ku południowi i wschodowi rozległa Wysoczyzna Białostocka — urozmaicona licznymi obniżeniami i dolinkami — to obszar odmienny w strukturze zdjęcia satelitarnego. Dominują tu obniżenia i zagłębienia okresowo podmokłe, wypełnione namułami piaszczystymi lub torfami, i ten właśnie element krajobrazu — oprócz jezior i obszarów dolinnych, którym najczęściej towarzyszą łąki — jest najlepiej czytelny na zdjęciach satelitarnych. Czytelne na zdjęciach satelitarnych doliny rzeczne są bardzo różne. Właśnie w obrębie doliny Biebrzy w wyniku analizy zdjęć satelitarnych (A. Sieradz, 1979) wydzielono następujące fragmenty tarasów: taras zalewowy podmokły — zajęty zwykle przez roślinność łąkową, obszary tarasu zalewowego o roślinności typowej dla obszarów zatorfionych i zajętych przez lasy liściaste, jak też fragmenty tarasu o zmiennym poziomie wód gruntowych częściowo wykorzystane pod uprawy. Wyróżniono też rejony wyżej położone — tworzące wyspy tarasu nadzalewowego, częściowo tylko zalesione, a częściowo zajęte przez osadnictwo i uprawiane. Natomiast na obszarze Wysoczyzny Białostockiej poszczególne płyty wysoczyzny są porozdzielane różnego typu obniżeniami dolinnymi, a sieć drenażowa wysoczyzny jest podporządkowana rozległemu, równinnemu obniżeniu na zachodzie, tj. Kotlinie Biebrzy. Na zdjęciu satelitarnym są czytelne małe doliny, którym towarzyszy roślinność łąkowa (o intensywnym, dość jednolitym, czerwonym zabarwieniu na kompozycjach barwnych), a ponadto doliny większe, w obrębie których zróżnicowania barwy na zdjęciu wskazują na łąki, a miejscami zatorfienia.

Analizując na zdjęciu obszar położony na północ od strefy nagromadzenia jezior, wyróżnić można rozległe kompleksy odmiennie fototonalnie. Najczęściej są to kompleksy leśne (m.in. Puszcza Romincka).

W wyniku analizy zdjęć satelitarnych obejmujących północno-wschodni skrawek Polski zwrócono uwagę na ogólne ukierunkowanie elementów krajobrazu i ich strefowy układ. Podobny układ mają i inne składowe pokrycia terenu poza formami rzeźby, również gleby, utwory macierzyste — czwartorzędowe i kompleksy wodonośne.

Najważniejszym zagadnieniem w analizie geologicznej jest próba wyjaśnienia roli lądolodu, procesów glacialnych i fluwioglacjalnych w kształtowaniu współczesnego oblicza tego rejonu Polski. W pracach geologów litewskich, szwedzkich i fińskich duże znaczenie przywiązuje się do roli ruchów czwartorzędowych w kształtowaniu współczesnej rzeźby. Również w północno-wschodniej Polsce neotektoniczne ruchy wznoszące osiągają 1—2 mm/rok, podczas gdy w rejonie dolnej Narwi stwier-

dzono ruch pogrążający o podobnej wielkości (T. Wyrzykowski, 1972; W. C. Kowalski, J. Liszkowski, 1972).

PRÓBA OCENY ZWIĄZKU KRAJOBRAZU Z BUDOWĄ GEOLOGICZNĄ PODŁOŻA

Pod względem geomorfologicznym obszar północno-wschodniej Polski został ukształtowany w plejstocenie i holocenie, a miąższość utworów czwartorzędowych osiąga miejscami 250—300 m (A. Ber, 1974). Jednakże stosunkowo niegłęboko w podłożu, szczególnie na wschodzie, zalegają skały krystaliczne platformy prekambryjskiej. W stropie prekambru zaznacza się wyniesienie o kierunku SW—NE, którego powierzchnia obniża się zgodnie z zapadaniem skłonu platformy — ku SW. Jest to wyniesienie mazursko-suwalskie. Miąższość pokrywy osadowej wzrasta na północ w stronę syneklizy perybałtyckiej i na południe — w kierunku obniżenia podlaskiego. Oś pojezierza przebiega również z SW na NE, co w ogólnym kierunku jest zgodne z osią wyniesienia mazursko-suwalskiego.

Liczne luki sedymentacyjne oraz zmiany miąższości i facji w budowie pokrywy osadowej platformy są świadectwem częstych ruchów podłoża krystalicznego w kolejnych etapach rozwoju geologicznego (J. Znosko, 1973). Wpływ ruchów przejawiał się również w zmiennej głębokości erozji i tempie sedymentacji. W podłożu serii czwartorzędowej podczas erozji preglacjalnej, jak też potem — w wyniku egzaracji lodowcowej i erozji interglacjalnej, powstały głębokie bruzdy o charakterze dolinnym (E. Rühle, 1968).

Załączona mapa przedstawia wynik analizy zdjęć satelitarnych pod kątem rozpoznawania stref o liniowym przebiegu, ujawniających się w strukturze obrazu, tzw. fotolineamentów (J. Bażyński, M. Graniczny, 1978), które mogą być odbiciem ruchów głębokiego podłoża. Fotolineamenty analizowano pod kątem ich przejawów w formach rzeźby. Przebieg ich wyznaczają przede wszystkim obniżenia dolinne, często odpowiadające rynnom polodowcowym, miejscami podkreślone misami jezior; są to również obszary podmokłe i zabagnione, strefy marginalne stanowiące wzniesienia powierzchni i skupiska roślinności różnego typu towarzyszącej tym formom.

Rozpoznano również fotolineamenty, które nie były możliwe do wyróżnienia na podstawie jakichkolwiek innych materiałów kartograficznych czy też geologicznych. Zostały one wyznaczone na podstawie zmian fototonalnych, które w procesie analizy zdjęcia na projektorze wielospektralnym zostały wzmocnione dzięki odpowiedniej kompozycji kanału i filtrów. Analizując poszczególne wyciągi spektralne zauważono, że w kanale 5 przeważają w przebiegu fotolineamentów kierunki NW—SE

i ENE—WSW. Natomiast w kanale 7 bardziej wyraźne są systemy prostopadłe względem siebie NNW—SSE i ENE—WSW.

Jak wynika z dotychczasowego rozpoznania geologicznego, w północno-wschodniej Polsce jednymi z najważniejszych są strefy tektoniczne o kierunku NW—SE — o założeniach prekambryjskich i odnawiane w proterozoiku — równoległe do strefy tektonicznej Teisseyre'a-Tornquista, (J. Znosko, 1973).

PODSUMOWANIE

Celem dokonanej interpretacji zdjęć satelitarnych obszaru północno-wschodniej Polski była próba wyjaśnienia zależności wyróżnionych fotolineamentów od budowy geologicznej tego regionu kraju. Stwierdzono, że obraz fotolineamentów może być wykorzystany przez geologów w badaniach geologicznych również w tej części Polski, a zwłaszcza dla uszczegółowienia schematów strukturalnych, a być może także poszukiwań surowcowych. Analizę zdjęć satelitarnych należy zatem stosować jako metodę pomocniczą wyprzedzającą badania geofizyczne.

Porównując kierunki dominujących fotolineamentów z kierunkami stref uskokowych podłoża przedstawionymi na mapie litologiczno-strukturalnej (K. Karaczun, S. Kubicki, W. Ryka, 1975; S. Kubicki, W. Ryka, 1982) zaobserwowano, że są one w zasadzie zgodne. Pewne różnice zauważa się w kierunkach południkowych lub zbliżonych do południkowych, bowiem fotolineamenty o przebiegu NNW-SSE nie pokrywają się z liniami uskokowymi N—S skał podłoża krystalicznego. Obraz kierunków fotolineamentów zestawiono z obrazem ogólnych trendów we współczesnej rzeźbie obszaru północno-wschodniej Polski. Opierając się na mapie M. Bogackiego (1976) stwierdzono, że główne strefy geomorfologiczne naśladują te kierunki bądź są otoczone siecią fotolineamentów (B. Daniel-Danielska 1978).

Strefy nieciągłości tektonicznej są miejscami osłabień platformy prekambryjskiej. Przemieszczenia mas skalnych, procesy metamorfizmu i inne — zachodziły głównie wzdłuż tych stref. We współczesnej rzeźbie również można dopatrywać się naśladownictwa tych kierunków, co wskazywałoby na prawdopodobieństwo aktywności starych „szwów” również w czwartorzędzie, a typ akumulacji czwartorzędowej może być wynikiem predyspozycji tektonicznej — glaciizostazji, glacitektoniki i neotektoniki.

Zdjęcia satelitarne pozwalają więc na pewne sugestie odnośnie do ogólnego stylu budowy geologicznej nawet w obszarach o grubej pokrywie czwartorzędowej, co ma ogromne znaczenie dla ukierunkowania badań geofizycznych, jak też poszukiwań surowcowych.

LITERATURA

- Bażyński J., Graniczny M., 1978, *Fotolineamenty i ich znaczenie w geologii*, Przgl. Geol. nr 5.
- Ber A., 1974, *Czwartorzęd Pojezierza Suwalskiego*, Biul. IG 269, Warszawa.
- Bogacki M., 1976, *Współczesne sandry na przedpolu Skeidararjökull (Islandia) i plejstoceny sandry w Polsce północno-wschodniej*, Rozprawy UW nr 93, Warszawa.
- Daniel-Danielska B., 1978, *Interpretacja zdjęć lotniczych małoskalowych obszarów testowych — rejon Krzemianka (maszynopis)*, Arch. IG, Warszawa.
- Daniel-Danielska B., 1983, *Metodyka interpretacji utworów czwartorzędowych na zdjęciach satelitarnych (maszynopis)*, Arch. IG, Warszawa.
- Galon R. (red.), 1972, *Geomorfologia Polski*, t. 2, PWN, Warszawa.
- Karaczun K., Kubicki S., Ryka W., 1975, *Mapa geologiczna podłoża krystalicznego platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce w skali 1:500 000*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Kondracki J., 1972, *Polska północno-wschodnia*, PWN, Warszawa.
- Kowalski W. C., Liszkowski J., 1972, *Współczesne pionowe ruchy skorupy ziemskiej w Polsce na tle jej budowy geologicznej*, Biul. Geol. UW, t. 14, Warszawa.
- Kubicki S., Ryka W., 1982, *Atlas geologiczny podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Rühle E., 1968, *Podłoże czwartorzędu i jego wpływ na rozmieszczenie i charakter zlodowacenia północnopolskiego (bałtyckiego)*, Prace Geogr., t. 74, PWN, Warszawa.
- Sieradz A., 1979, *Fotointerpretacyjna mapa zmian zasięgu wód gruntowych w Kotlinie Biebrzy*, Arch. IG, Warszawa.
- Wiśniewski J., 1964, *Rozwój osadnictwa na pograniczu polsko-rusko-litewskim*, „Acta Baltico-Slavica”, 1, Białystok.
- Wyrzykowski T., 1967, *Geodetical elaboration of a map of recent vertical movements of the surface of the earth's crust of the area of Poland*, Materiały i Prace Inst. Geofizyki PAN nr 14, Warszawa.
- Znosko J., 1973, *Budowa geologiczna północno-wschodniej Polski*, Przewodnik 45 Zjazdu PTG — Augustów, Wyd. Geol., Warszawa.

Barbara Daniel-Danielska

SATELLITE IMAGE AS A SOURCE OF INFORMATION ON GEOLOGY OF NE POLAND

Summary

The interpretation of Landsat images of the part of NE Poland (an area covered with thick layer of Quaternary deposits) was overworked. Different scale, multi-spectral black and white satellite photos and colour compositions in false colour was taken into account. Differentiation in vegetational cover, drainage network and terrain relief on seasonal photos were observed. The results of visual interpretation of satellite images were compared with a map of lithological and

structural basement complexes (prepared on basis of bore-holes and geophysical investigations). The prevailing trends of photolineaments were found to be in good coincidence with trends shown on this map. Major features of landscape also coincide with directions traced on the crystalline basement. It is difficult to interpret satellite photolineaments as direct reflection of any concrete discontinuity in crystalline complex or overlying strata. Photogeological analysis of remote-sensed data is a new important method, supplementary to the classical ones. It should be applicated in a first stage of all geological investigations.