

Barbara DANIEL-DANIELSKA, Stanisław KIBITLEWSKI, Andrzej SADURSKI

Geologia Żuław Wiślanych a zdjęcia satelitarne

Przedstawiono wyniki interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych Landsat Żuław Wiślanych i przyległych partii wysoczyzn morenowych. Wyróżnione fotolineamenty tworzą regularny układ sugerujący tektoniczną genezę. Analiza materiałów geologicznych wskazuje, że fotolineamenty te mogą być projekcją powierzchniową deformacji nieciągłych istniejących w obrębie węglanowego kompleksu kredy górnej, podścielającego plastyczne i sypkie utwory kenozoiku.

WSTĘP

Problem budowy geologicznej Żuław Wiślanych w pierwszych pracach monograficznych traktowany był marginesowo. Dopiero w latach powojennych badania, prowadzone przez Instytut Geologiczny oraz przedsiębiorstwa geologiczne i hydrogeologiczne, przyniosły więcej informacji o geologii tego obszaru i rejonów przyległych. Znalazło to wyraz w wielu pracach, w tym również syntetycznych (m.in.: Z. Pazdro, 1959; S. Musielak, 1971; B. Kozerski, A. Majorkowski, 1976; J.E. Mojski, J. Sylwestrzak, 1976; A. Sadurski, 1977, 1985; A. Makowska 1977; B. Kozerski, A. Kwaterkiewicz, 1984; R. Dadlez (red.), 1980; S. Kubicki, W. Ryka, 1982).

Dotychczasowe rozpoznanie wglębnej budowy geologicznej syneklizy perybałtyckiej, w obrębie której leżą Żuławy Wiślane, opiera się jednak na niewielkiej liczbie głębokich otworów wiertniczych. Budowę przypowierzchniową rozpoznano nieco lepiej, dzięki stosunkowo gęstej, chociaż nierównomiernej sieci otworów wykonywanych głównie dla celów hydrogeologicznych. Większość z nich osiąga tylko strop lub górne ogniwa utworów kredowych. Wiele zagadnień geologicznych, dotyczących również tych płytkich poziomów, pozostaje jeszcze do rozwiązania, w tym problemy tektoniki utworów kredowych i szczegółowego rozpoznania serii kenozoicznej.

Rozwijane w ostatnich latach na świecie metody geologicznej interpretacji zdjęć satelitarnych i innych materiałów teledetekcyjnych dostarczają wielu informacji, których znaczenie geologiczne coraz częściej znajduje potwierdzenie w badaniach prowadzonych metodami klasycznymi. Wydaje się potrzebne rozsze-



Fig. 1. Mapa fotolineamentów obszaru Żuław Wiślanych (wykonana na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat)

Lineament map of the Vistula Delta Plain (based on Landsat images)

1 – fotolineamenty wyraźnie wyróżnione kilkakrotnie (w dwóch kanałach MSS i na kompozycjach FCC); 2 – fotolineamenty mniej wyraźne i słabo czytelne, wyróżnione w jednym kanale MSS lub przez jednego interpretatora; 3 – fotolineamenty czytelne na kompozycjach FCC; 4 – granica podnóża wysoczyzny

1 – lineaments well visible and observed on two channels MSS and colour composites FCC; 2 – lineaments less visible and observed on a single band of MSS or by one interpreter; 3 – lineaments observed on FCC only; 4 – boundary of morainic plateau

rzenie rozpoznania geologicznego Żuław Wiślanych o ten właśnie aspekt nowoczesnej kartografii geologicznej.

PRZESŁANKI I CEL PRAC FOTOGEOLOGICZNYCH NA ŻUŁAWACH

Z przeglądu zdjęć satelitarnych Landsat wynika, że na Żuławach Wiślanych występuje stosunkowo dużo fotolineamentów o różnym charakterze. Po wyeliminowaniu fotolineamentów wynikających z szeregu liniowych elementów antropogenicznych (kanały, groble, nasypy, drogi, linie kolejowe itp.) w tym wybitnie

płaskim i względnie jednolitym litologicznie regionie deltowym pozostaje dużo fotolineamentów (fig. 1), których nie można tłumaczyć ani zmiennością form rzeźby, ani też budową mało tu zróżnicowanych powierzchniowych osadów holocenijskich. O ile czytelność fotolineamentów w sąsiadujących z Żuławami obszarach wysoczyznowych – o urozmaiconej rzeźbie, budowie, litologii serii czwartorzędowej i pokrywie wegetacyjnej – można uzasadniać wymienionymi zmiennościami, o tyle obecność fotolineamentów w obszarze Żuław pozwala przypuszczać, że są one projekcją form czy struktur głębszych, co najmniej podholocenijskich. Ponieważ istnieją fotolineamenty, które bez zmiany kierunku przecinają w sposób ciągły tak różne jednostki geomorfologiczne jak: wysoczyznę Pojezierza Kaszubskiego na zachodzie, Żuławę Wiślaną i Wysoczyznę Elbląską na wschodzie, można wznosić tym pewniej, że są one odbiciem elementów głębszych niż elementy serii czwartorzędowej czy trzeciorzędowej.

Mapy geologiczne w skali 1:200 000 (A. Makowska, 1972, 1976, 1977; J.E. Mojski, 1976 – wydania B) wskazują na możliwość występowania na obszarze Żuław Wiślanych stref nieciągłości wyrażających się uskokami. Zwracano też uwagę, że na budowę utworów kenozoicznych, a także układ i krążenie wód podziemnych w całym kompleksie kredowo-kenozoicznym tego regionu mogły wywierać znaczny wpływ spękania i uskoki w utworach kredowych, uaktywniające się w wyniku ruchów neotektonicznych. Związki tego typu są jednak na obecnym etapie badań trudne do udowodnienia i zaprezentowania z uwagi na słabe rozpoznanie kredy, jak i (w szczególności) kenozoiku. Aktywność wielu uskoków działających w okresie pokredowym do czwartorzędu włącznie i ich możliwy wpływ na rozwój Żuław zakłada jednak wielu autorów (m.in. S. Tyski, 1977; E. Rühle, 1974; J.E. Mojski, 1979). Jak się zdaje, najważniejszą przesłanką tych założeń jest urozmaicona rzeźba stropu kredy i ukształtowanie podłoża czwartorzędu. Fakt, że rzeźba ta jest wynikiem erozji nie wyklucza wpływu na te procesy czynników tektonicznych. Jak wielokrotnie stwierdzano również w literaturze krajowej, fotolineamenty czytelne na zdjęciach satelitarnych w odniesieniu do różnych geologicznie regionów mogą być powierzchniowym wyrazem (projekcją) istniejących w głębi uskoków i innych elementów tektonicznych. Stwierdza się to zarówno w obszarach pozbawionych grubszej pokrywy osadów kenozoicznych (na ogół miękkich i luźnych), jak i w rejonach, gdzie pokrywa taka przewyższa miąższością grubość serii kenozoicznej, z jaką mamy do czynienia na Żuławach (m.in. J. Bażyński, M. Graniczny, 1978; J. Bażyński, 1982).

Celem niniejszego opracowania jest próba wyjaśnienia genezy i znaczenia geologicznego fotolineamentów obserwowanych na zdjęciach satelitarnych Landsat omawianego obszaru.

METODA PRACY

Do interpretacji fotogeologicznej Żuław wykorzystano zdjęcia satelitarne Landsat 2 i Landsat 3, wykonane w latach 1975–1979 w różnych porach roku (tab. 1). Materiały analizowano wizualnie bezpośrednio i z zastosowaniem urządzeń analogowych. Dla zwiększenia wiarygodności wyników interpretacji wszystkie zdjęcia były badane niezależnie przez dwóch interpretatorów. Skoncentrowano się na fotolineamentach, które oprócz znacznej liczebności charakteryzuje duża regularność występowania, ciągłość przestrzenna i wysoki stopień uporządkowania (por. A. Sadurski i in., praca w druku). Cechy te sugerują możliwe związki omawianych fotolineamentów z budową tektoniczną.

Tabela 1

**Zdjęcia satelitarne Landsat Żuław Wiślanych
(wykorzystane w opracowaniu)**

Scena według kat. IG	Numer sceny	Data	Skala	Rodzaj materiału	Kanał
10/2	E-2230-09063	9.09.1975	1:500 000	odbit. papier.	5,7
10/2	E-2230-09063	9.09.1975	1:250 000	odbit. papier.	FCC
14/2	E-02031-09021	22.02.1975	1:500 000	odbit. papier.	5,7
24/2	E-02643-08513	26.10.1976	1:500 000	odbit. papier.	5,7
24/2	E-02643-08513	26.10.1976	1:250 000	odbit. papier.	FCC
50/2	E-21165-08355	1.01.1978	1:1 mln	diapozytyw	FCC
42/3	E-0433-09081	12.05.1979	1:1 mln	diapozytyw	FCC
42/3	E-0433-09081	12.05.1979	1:250 000	odbit. papier.	FCC

Zestawiono mapę fotolineamentów z zaznaczeniem stopnia ich czytelności (fig. 1). Należy podkreślić, że (jak wynika z dotychczasowej praktyki fotogeologicznej) czytelność fotolineamentów będących odbiciem sytuacji geologicznej może, ale nie musi, wyrażać stopnia ważności odpowiednich elementów geologicznych.

Fotolineamenty poddano analizie geologicznej na podstawie istniejących materiałów geologicznych, a w szczególności wyników najnowszych otworów hydrogeologicznych opracowanych przez A. Sadurskiego.

WARUNKI GEOLOGICZNE

Podłoże krystaliczne pocięte nielicznymi uskokami występuje w obszarze Żuław na znacznej głębokości – od około 3500 m na wschodzie do ponad 4000 m na zachodzie (K. Karaczun i in., 1982). Na krystaliku leży paleozoiczna pokrywa osadowa, której strop znajduje się na głębokości od około 1500 m na północy do 2000 m na południu (fig. 2). Stwierdzono, że zuskokowanie i szerokopromienne wypaczenia stropu kompleksu krystalicznego wpływały na rozwój paleozoiku.

Następną serię budują utwory cechsztyńsko-mezozoiczne. Ich najwyższą część tworzą węglanowe i węglanowo-krzemionkowe utwory kredy górnej (turon – kampan – mastrycht). Miąższość tych utworów, stanowiących bezpośrednio podłoże luźnej i miękkiej pokrywy osadów kenozoicznych, wynosi od 50 m w rejonie Gdańska do 200 m dalej na wschodzie i na południu w rejonie Tczewa i Malborka. Strop kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego występuje na niezbyt zróżnicowanej głębokości, średnio 90 m, obniżając się łagodnie na wschód i zachód pod wysoczyzny połodowcowe, i jest lekko urzeźbiony.

Na utworach kredy górnej (kampan – mastrycht) leży seria trzeciorzędowa. Procesy erozyjne i egzaracyjne na przełomie trzeciorzędu i czwartorzędu oraz w plejstocenie spowodowały znaczne lokalne zniszczenie tej serii, a na dużych obszarach sięgały utworów górnokredowych.

Czwartorzęd na Żuławach reprezentowany jest przez osady trzech zlodowaceń oraz holocenu. Budowa serii plejstoceńskiej jest bardzo złożona, co jest wynikiem

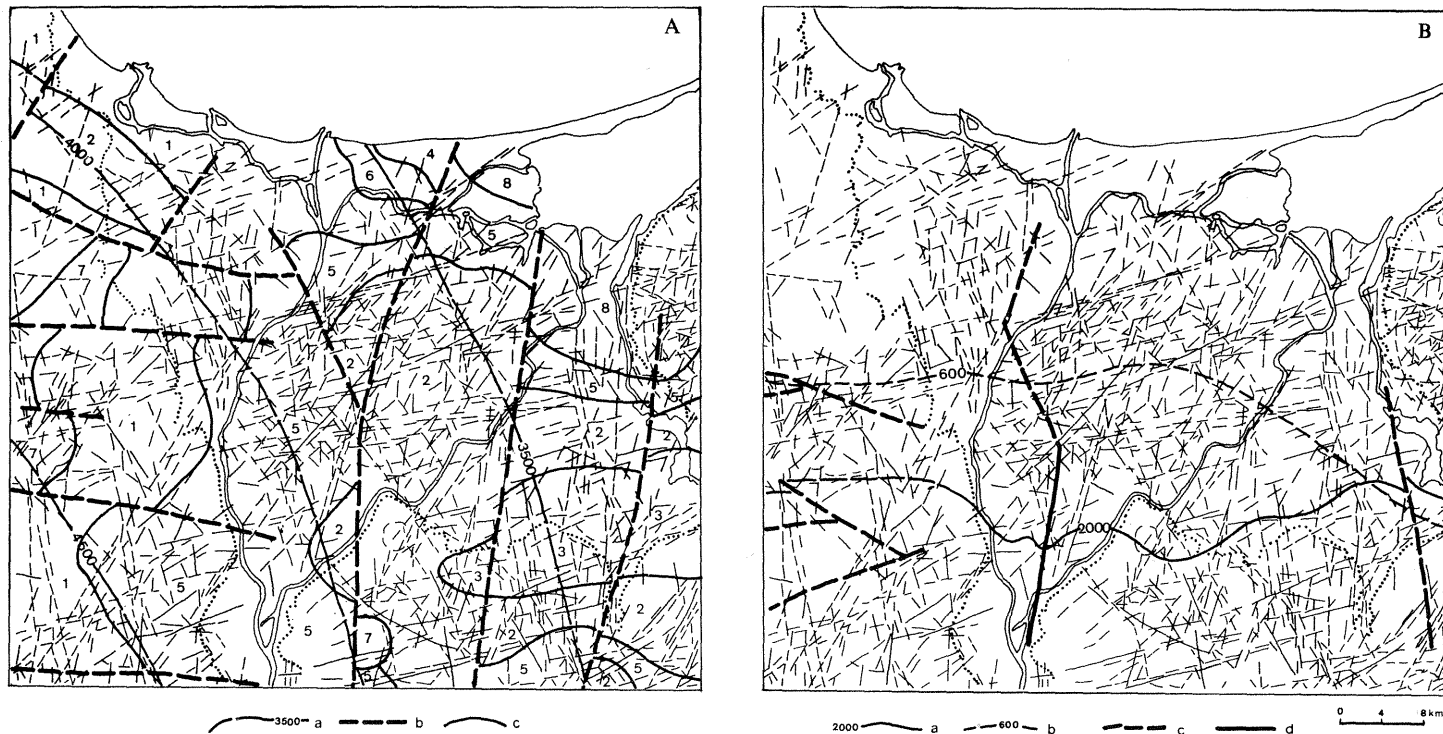


Fig. 2. Fotolineamenty a budowa geologiczna starszego podłoża
Landsat lineaments in relation to geological structure of basement

A – podłoże krystaliczne: a – izohipsy stropu krystaliniku w metrach (według S. Kubickiego, W. Ryki, 1982), b – uskoki, c – granice litologiczne; kompleksy skalne (według K. Karaczuna i in., (1982): 1 – granitoidy, 2 – gnejsy nierozdzielone, 3 – gnejsy nierozdzielone i amfibolity, 4 – gnejsy piroksenowe i amfibolity, 5 – migmatyty nierozdzielone, 6 – magmatyty piroksenowe, 7 – granitoidy anatektyczne i paligenetyczne, 8 – granitoidy typu rapakiwi; B – kompleks cechsztyńsko-mezozoiczny (według R. Dadleza red., 1980): a – izohipsy powierzchni spagowej, b – izohipsy spągu kredy górnej, c – uskoki przecinające dolną część kompleksu (głównie cechsztyń lub cechsztyń i trias), d – uskoki przecinające cały kompleks; obie powierzchnie nachylone na południe

A – crystalline basement: a – contours of top surface, in meters (after S. Kubicki, W. Ryka, 1982), b – faults, c – lithological boundaries; lithology (after K. Karaczun and others, 1982): 1 – granitoids, 2 – unsubsdivided gneisses, 3 – unsubsdivided gneisses and amphibolites, 4 – pyroxene gneisses and amphibolites, 5 – unsubsdivided migmatites, 6 – pyroxene migmatites, 7 – anatectic and paligenetic granitoids, 8 – rapakiwi-like granitoids; B – Zechstein-Mesozoic complex (after R. Dadlez, 1980): a – contours of basal surface of complex (in meters), b – contours of the base of Upper Cretaceous, c – faults penetrating lower part of the complex (mainly Zechstein or Zechstein and Triassic), d – faults cutting the whole complex; both structural surfaces are inclined southwards

nakładania się szeregu procesów zmiennych w czasie i przestrzeni; takich jak: zróżnicowana akumulacja (lodowcowa, zastoiskowa, morska, rzeczna), erozja, egzaracja, glacitektonika, a także prawdopodobnie tektonika. Miąższość plejstocenu wynosi średnio około 70 m, a strop tej serii obniża się łagodnie ku północy. Ukształtowanie powierzchni utworów podholoceńskich w szczegółach nie jest dobrze rozpoznane. Powierzchnia ta jest urzeźbiona i zasypana osadami holocenu o miąższości od 0 do ok. 20 m, rosnącej ogólnie ku północy i wschodowi. Współczesna równina Żuław jest wynikiem działania procesów holoceńskich, a przede wszystkim akumulacji deltowej (J.E. Mojski, 1983). Zbudowana jest z mad, namułów, mułków, torfów, piasków i żwirów rzecznych (J.E. Mojski, J. Sylwestrzak, 1976; A. Makowska, 1977).

Rozwój Żuław Wiślanych, jako jednostki morfogenetycznej, przebiegał prawdopodobnie w co najmniej dwóch cyklach. Pierwszy przypada na koniec trzeciorzędu. W pliocenie bowiem następowało intensywne rozcinięcie erozyjne, sięgające utworów niższego trzeciorzędu, a nawet górnej kredy. Wiązało się to z utworzeniem rozległego obniżenia, które przetrwało do plejstocenu i odgrywało ważną rolę w rozwoju i niszczeniu osadów kolejnych zlodowaceń. Mimo intensywnych zasypań plejstocenijskich, obniżenie to przetrwało do holocenu. W holocenie osady plejstocenijskie, zwłaszcza ostatniego zlodowacenia, zostały w znacznej mierze z omawianego obniżenia usunięte przez wody Wisły. Przypuszczalnie ruchy glaciostatyczne oraz wahania poziomu wód oceanu światowego spowodowały kolejno: obniżenie bazy erozyjnej (okres morza yoldiowego), a następnie dalsze wypiętrzenie strefy brzegowej południowego Bałtyku (okres ancylusowy). W okresie litorynowym wskutek wznoszenia się Skandynawii na Żuławy wkroczyła ostatnia transgresja morska, wymuszając m.in. intensywną i o zmiennych kierunkach sypania akumulację grubej serii rzecznych osadów deltowych. Utwory te były składane w miarę ustępowania wód morskich w zalewie, tworzącym się przez stopniowe zamykanie przybrzeżnych wód narastającą od zachodu mierzeją (B. Augustowski, 1976).

Z nakreślonego obrazu budowy geologicznej i rozwoju Żuław Wiślanych wynika, że różne serie i kompleksy utworów rozpoznane są w niejednakowym stopniu.

Istotną dla rozważań o naturze fotolineamentów są przede wszystkim: ukształtowanie stropu i rodzaj deformacji w kruchych utworach kredowych (fig. 4A), rzeźba powierzchni podczwartorzędowej (fig. 4B) oraz wykształcenie i stan zachowania utworów czwartorzędowych. W tych właśnie czynnikach należy przede wszystkim upatrywać uwarunkowania rozpoznanej sieci fotolineamentów.

ANALIZA MATERIAŁÓW GEOLOGICZNYCH

Jak wynika z interpretacji otworów wiertniczych, strop kredy na Żuławach leży nieco wyżej niż w podłożu otaczających je wysoczyzn i jest silnie urzeźbiony (fig. 4A). Ukształtowanie jego wskazuje na pewne regularne kierunki, które często wiąże się z procesami tektonicznymi działającymi w utworach erodowanych. Mapa strukturalna rozpatrywanego poziomu erozyjnego, sporządzona na podstawie materiałów wiertniczych, jest tylko pewnym przybliżeniem rzeczywistości, co wynika z nierównomiernego rozmieszczenia otworów oraz interpolacji danych wiertniczych (fig. 3), ale i ten obraz daje się interpretować jako skutek erozji wykorzystującej nieciągłości tektoniczne w obrębie serii kredowej. Z litologii utworów górnej kredy (kruche utwory węglanowe) i ogólnej sytuacji badanego obszaru w

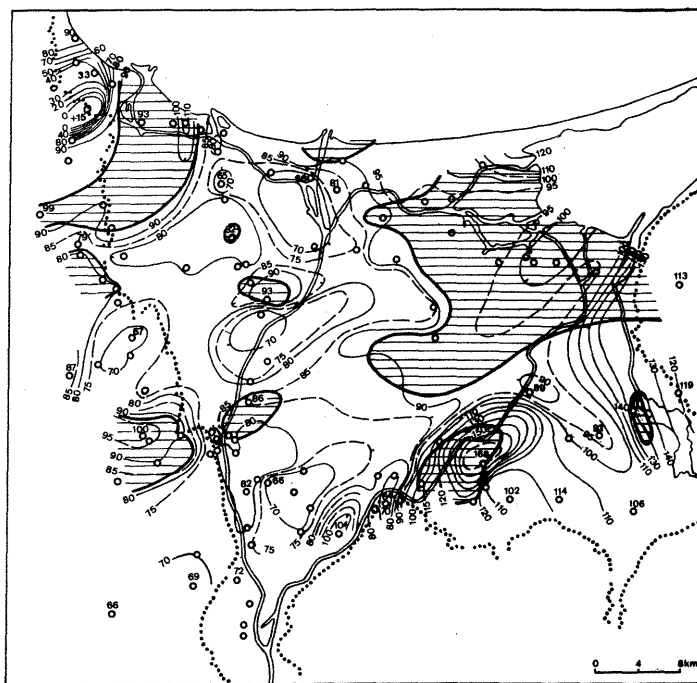


Fig. 3. Ukształtowanie powierzchni podczwartorzędowej
Relief of the Quaternary substratum

1 – izohipsy powierzchni podczwartorzędowej (w m p.p.m.); 2 – utwory: a – kredy, b – trzeciorzędu; 3 – otwory wiertnicze; pozostałe objaśnienia jak na fig. 1

1 – contours of substratum surface (in m b.s.l.); 2 – lithologic units: a – Cretaceous, b – Tertiary; 3 – boreholes; other explanations as given in fig. 1

obręb platformy można wnioskować, że deformacje powinny wyrażać się przede wszystkim niezbyt intensywnymi, ale dość regularnymi zaburzeniami typu spękaninowego. Spękania te mogły się uaktywniać w różnych okresach jako uskoki powodujące rozwój struktur blokowych.

Powierzchnia podczwartorzędowa (częściowo utwory kredy, a częściowo trzeciorzędu) jest również urozmaicona. Utwory trzeciorzędowe stanowią pokrywę częściowo zniszczoną, składającą się z osadów plastycznych i sypkich, kontrastujących litologicznie z utworami kredy. Ta porożcinana pokrywa rozwinięta jest głównie w zachodniej części Żuław. Na wschodzie na powierzchnię podczwartorzędową wychodzą na rozległych obszarach utwory kredy, które na zachodzie obserwowane są tylko miejscami (np. w strefie zajmowanej dziś przez skłon wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego).

Rzeźba powierzchni podczwartorzędowej zbliżona jest do ukształtowania powierzchni kredowej. Z porównania map (fig. 4A i B) można wnioskować, że erozja preglacjałna i plejstocenska działały regionalnie w sposób zbliżony do erozji kredowej (przedtrzciorzędowej). Wyraża się to bowiem podobnym efektem silniejszego rozcinania osadowych serii trzeciorzędowych i czwartorzędowych we wschodniej oraz miejscami w północno-zachodniej części Żuław.

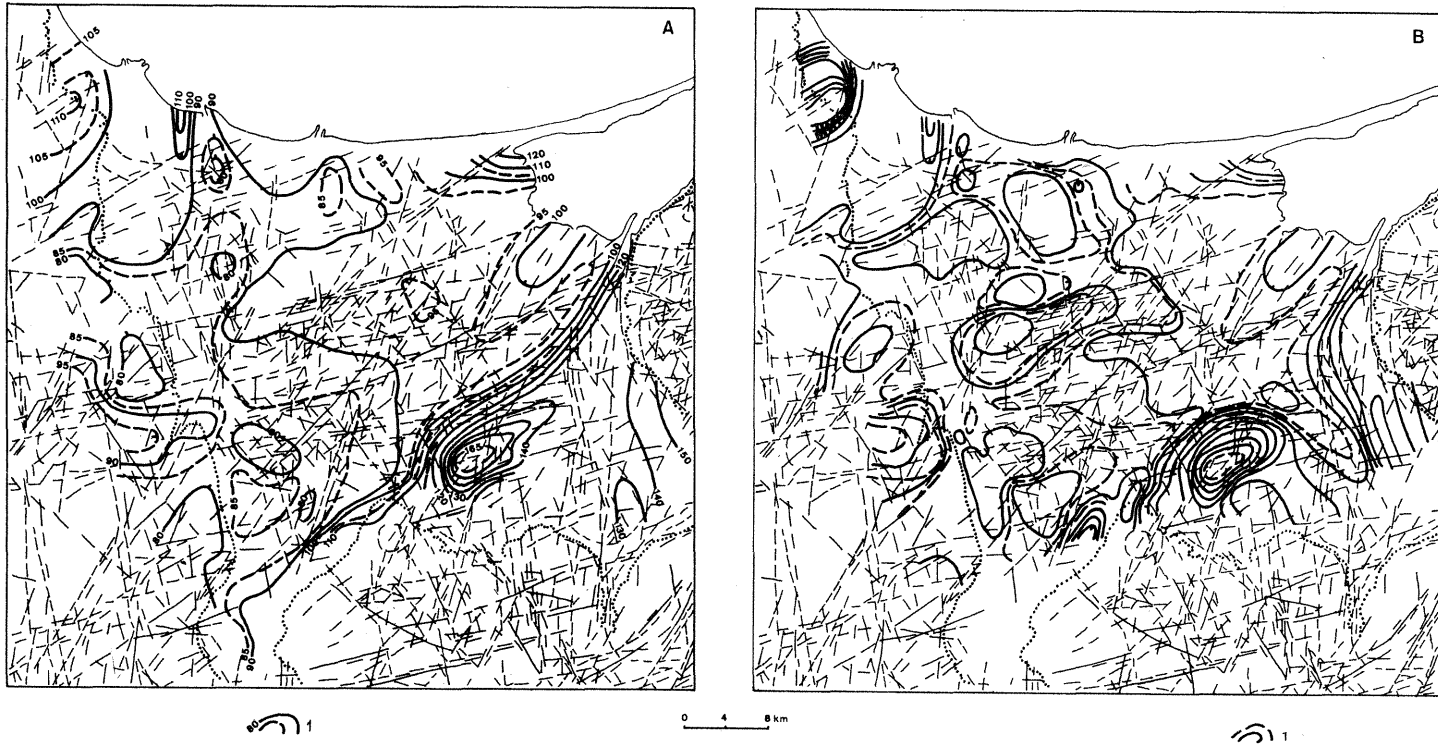


Fig. 4. Fotolineamenty a ukształtowanie powierzchni wglębnych
Landstat lineaments in relation to relief features in

A – powierzchnia stropu kredy: 1 – izohipsy stropu kredy (w m p.p.m.); B – powierzchnia podzwartorzędowa: 1 – izohipsy powierzchni podzwartorzędowej (wartości – por. fig. 3); pozostałe objaśnienia jak na fig. 1

A – top surface of Cretaceous complex: 1 – contours of surface (in m b.s.l.); B – substratum relief of Quaternary: 1 – contours of substratum surface (values as in fig. 3); other explanations as given in Fig. 1

Zbliżone są również formy rzeźby niższego rzędu, obserwowane w stropie kredy i powierzchni podczwartorzędowej. Są to względnie szerokopromienne kopuły i depresje. Być może ta zbieżność form ma charakter jedynie przypadkowy i wynika po części z faktu, że jakość informacji (liczba otworów wiertniczych i sposób ich rozłożenia) w obu przypadkach jest ta sama. Biorąc jednak pod uwagę różną budowę litologiczną obu powierzchni oraz różnicę czynników rządzących erozją przedtrzeciorzędową i erozją zachodzącą w preglacjale i w plejstocenie, jest prawdopodobne, że formy erozyjne w kredzie były uwarunkowane w znacznym stopniu także deformacjami tektonicznymi w stropie tych sztywnych i splekanych utworów. W następstwie słabych w tym obszarze ruchów pokredowych rozwijały się splekania i uskoki o niewielkich amplitudach, charakterystyczne dla platformy. Takie właśnie struktury tektoniczne wpływały zapewne na rozwój sieci erozyjnej, naśladującej plan tektoniczny kompleksu kredowego.

Zależność erozji pomioceńskiej (preglacialnej) oraz różnych procesów plejstoceńskich (erozja, akumulacja, egzaracja) od deformacji utworów kredowych jest (może tylko na obecnym etapie rozpoznania) mniej wyraźna. Mogły się jednak w tym czasie uaktywnić i ujawnić przynajmniej niektóre deformacje w serii kredowej, m.in. pod wpływem zmian klimatycznych, działalności mas lądolodu, procesów polodowcowych, a także – jak w przypadku samych Żuław – procesów kształtujących rozwój Bałtyku. Deformacje w utworach kredowych mogły się zatem uaktywnić w różnych okresach i zaznaczyć również w budowie serii młodszych – od kredy do holocenu włącznie. Z tym wiązałyby się takie zjawiska charakterystyczne dla Żuław jak: zmienność kierunków przepływu wód powierzchniowych w różnych okresach czwartorzędu, kierunki kopalnej linii brzegowej Bałtyku, etapy, kierunki i położenia frontu sypania delty oraz inne procesy zachodzące na Żuławach w plejstocenie i holocenie, prowadzące ogólnie do zmian facji i miąższości osadów.

INTERPRETACJA GEOLOGICZNA ZDJĘĆ SATELITARNYCH

Na zdjęciach satelitarnych Landsat Żuławy Wiślane wyodrębniają się spośród otaczających wysoczyzn jako zwarta jednostka geomorfologiczna. Cechy fotointerpretacyjne, które to warunkują to: struktura i tekstura zdjęcia oraz fototon. Odmienność tych cech w obszarze Żuław wynika głównie z warunków gruntowo-wodnych, tj. wskazuje raczej na sposób użytkowania terenu (łąki, pola uprawne itd.), a także pośrednio na zróżnicowanie kompleksów glebowych (wyróżniają się głównie gleby organiczne i silnie zawadnione bądź piaszczyste pochodzenia aluwialnego).

Z geologicznego punktu widzenia, obraz fototonalny Żuław jest słabo zróżnicowany. Zaznaczają się jedynie fototony związane z seriami aluwialnymi w dolinach rzek, rozległym obniżeniem Jez. Druzno, pasmem wydym nadmorskich oraz z obszarami podwyższonego zasilania lateralnego w wodę u podnóża krawędzi wysoczyzn. Nie obserwuje się wyraźnego związku fototonów z depresjami. Należy jednak stwierdzić, że analiza fototonów na Żuławach nie daje podstaw do rozważań o szczegółach budowy geologicznej, a jedynie uwypukla pewne cechy użytkowania terenu.

Z punktu widzenia fotointerpretacji geologicznej ważnymi elementami interpretacyjnymi dla omawianego obszaru są fotolineamenty. Tworzą one sieć elementów liniowych w różnym stopniu czytelnych, różnie ukierunkowanych i za-

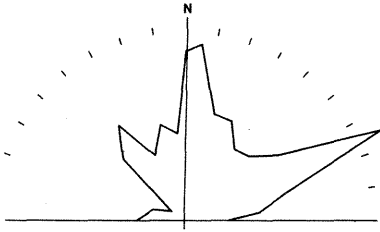


Fig. 5. Histogram azymutalny fotolineamentów z obszaru Żuław Wiślanych i przyległych obszarów wysoczyznowych

Azimuthal histogram of the lineaments for Vistula Delta Plain area and adjacent morainic plateaus

gęszczonych. Długości fotolineamentów zawierają się w przedziale od kilku do kilkunastu kilometrów. Obserwuje się dwie kategorie fotolineamentów: fotolineamenty dające się prześledzić na długich odcinkach i fotolineamenty lokalne, krótsze. Pierwsze układają się niekiedy w trendy o długościach regionalnych. Fotolineamenty tworzą dość regularną sieć o zróżnicowanych kierunkach (fig. 5). Najwyraźniejszy i najliczniej reprezentowany jest kierunek ok. 70° . Drugi co do regularności i częstotliwości jest kierunek subpołudnikowy. Obserwuje się też kierunki mniej wybitne; $130-140^\circ$ i $20-30^\circ$. Fotolineamenty o wymienionych kierunkach, a zwłaszcza o azymucie ok. 70° , notuje się również poza Żuławami, w całej syneklizie perybałtyckiej oraz na wyniesieniu Łęby. Liczne drobne fotolineamenty, krótsze, bardziej rozproszone, nie wszędzie występujące z jednakową intensywnością, wykazują najczęściej kierunki zbliżone do kierunków trendów regionalnych, sprawiając że cały obszar fotolineamentów na Żuławach ma charakter uporządkowany. Obserwuje się to niezależnie od lokalnej przewagi tylko niektórych kierunków lub też lokalnych zróżnicowań ich gęstości.

Wysoki stopień uporządkowania fotolineamentów znalazł również potwierdzenie w analizie statystycznej (A. Sadurski i in., praca w druku), obejmującej wyznaczenie gęstości liniowej i powierzchniowej fotolineamentów oraz ocenę korelacji między ich długością i azymutem (na Żuławach i w obszarach przyległych wysoczyzn). Stwierdzono natomiast znaczną regularność sieci fotolineamentów i istnienie kierunków uprzywilejowanych: $0-10^\circ$ i $60-80^\circ$ (fig. 6) oraz strefowe zagęszczenie, zwłaszcza w centralnej części Żuław (w rejonie Nowy Staw – Nowy Dwór Gdański), a także zgodność $\pm 10^\circ$ stref koncentracji wszystkich (w tym i bardzo słabo czytelnych) fotolineamentów z wydzielonym do analizy statystycznej podzbiorem fotolineamentów dobrze czytelnych.

Gęstość fotolineamentów jest lokalnie zróżnicowana. Względnie małą obserwuje się na północy w strefie przymorskiej, w pasie wzdłuż krawędzi wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego, u nasady delty, większą w centralnej części Żuław. Istotniejsze różnice gęstości notuje się na ogół w blokach wyznaczanych przez większe trendy lub zespoły fotolineamentów.

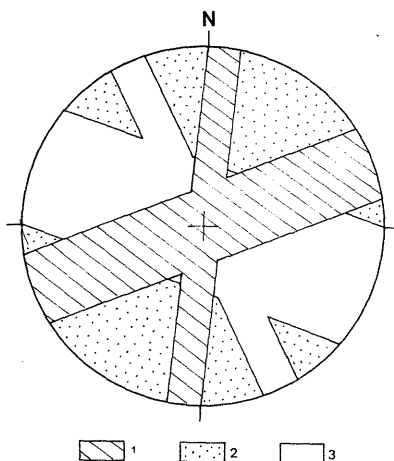
Statystycznie udokumentowany wysoki stopień regularności fotolineamentów może świadczyć o wspólnej naturze czynnika, który je generował. Czynniki ten działał w podobny sposób zarówno w samych Żuławach, jak i w otaczających je wysoczyznach, a prawdopodobnie też w całej syneklizie perybałtyckiej, jak wskazuje przebieg fotolineamentów regionalnych.

Genezy fotolineamentów nie można wiązać z osadami kenozoiku, choćby ze względu na złożoną, nieregularną i zróżnicowaną ich budowę. Czynnikiem generującym może być tylko tektonika, a zwłaszcza – jak się wydaje – dezintegracja spękaniowa i uskokowa kruchej węglanowej serii górnokredowej. Spękania w tej serii mogą dawać projekcję ku powierzchni przez nadległe, plastyczne i luźne osady kenozoiku. Bogactwo sieci lineamentów widocznych na całym badanym obszarze wskazuje, że jest to właśnie projekcja tektoniki spękaniowej tego poziomu

Fig. 6. Diagram strukturalny fotolineamentów obszaru Żuław Wiślanych (według metody Visteliusa)
Structural diagram of lineaments for Vistula Delta Plain area (obtained with the use of the Vistelius method)

1 – strefa koncentracji; 2 – strefa rozkładu równomiernego; 3 – strefa rozproszenia

1 – concentration zone; 2 – steady distribution zone; 3 – dispersion zone



(dobrze rozwinięty system ostrokątny i towarzyszący mu słaby system ortogonalny), a nie poziomów głębszych. Możliwość przeniesienia ku powierzchni z głębszych poziomów tak drobnych struktur jest – w miarę wzrostu głębokości – coraz mniejsza, a w przypadku istnienia podatnych kompleksów przewarstwiających – mogących rozpraszać i relaksować naprężenia – nawet niemożliwa. Jednak wpływ większych dyslokacji głębszych mógł się zaznaczyć tak w planie tektonicznym kredy górnej, jak też w planie fotolineamentów, np. w postaci niektórych tylko elementów, a zwłaszcza trendów dzielących obszar na bloki o znacznych rozmiarach.

Budowa blokowa omawianego obszaru, oprócz wspomnianej blokowości fotointerpretacyjnej (wynikającej z analizy rozkładu fotolineamentów), przejawia się również w pewnych elementach budowy geologicznej. Tej budowie można przypisać np. różne zachowanie się obszarów leżących na zachód i wschód od strefy subpołudnikowego fotolineamentu (reprezentującego jeden z ważniejszych trendów) przecinającego mniej więcej w połowie obszar między Wisłą i Nogatem. Różnicę tę widać w ukształtowaniu powierzchni stropu kredy (fig. 4A), jak też podczwartorzędowej (fig. 4B). W obu przypadkach na wschód od tego fotolineamentu wspomniane powierzchnie erozyjne sięgają głębiej niż w obszarze leżącym od niego na zachód. O tym, że fotolineament ten może reprezentować odbicie głębszej strefy uskokowej zdaje się też świadczyć najwyższe zasolenie wód podziemnych w węglanowych osadach kredy (B. Kozerski, A. Kwaterkiewicz, 1984; A. Sadurski, 1985) – fig. 7A. Wody te mają charakter szczelinowy, zaś obszar o wartości zasolenia powyżej 1000 mg/dcm³ Cl⁻ przypada na rejon, który można określić jako blok o maksymalnym zagęszczeniu fotolineamentów (w widłach Wisły i Nogatu). Pewne zależności tego typu można zauważyć w odniesieniu do stopnia zasolenia wód poziomu plejstoceniowego (fig. 7B). Ponadto w tym mniej więcej obszarze można się spodziewać wyklinowania ku wschodowi piaszczystego poziomu cenomanu oraz dopatrywać pewnych związków kierunkowych tego fotolineamentu (jak i niektórych innych) z kierunkami stwierdzanymi w bardzo głębokim podłożu (por. fig. 2). Strefa omawianego fotolineamentu wykazuje więc cechy strefy o założeniach tektonicznych, czynnej co najmniej w kenozoiku, a być może też wcześniej.

Obok blokowości wyższego rzędu zaznacza się też blokowość niższego rzędu, wyrażająca się – tak w rzeźbie stropu kredy, jak i powierzchni podczwartorzędowej

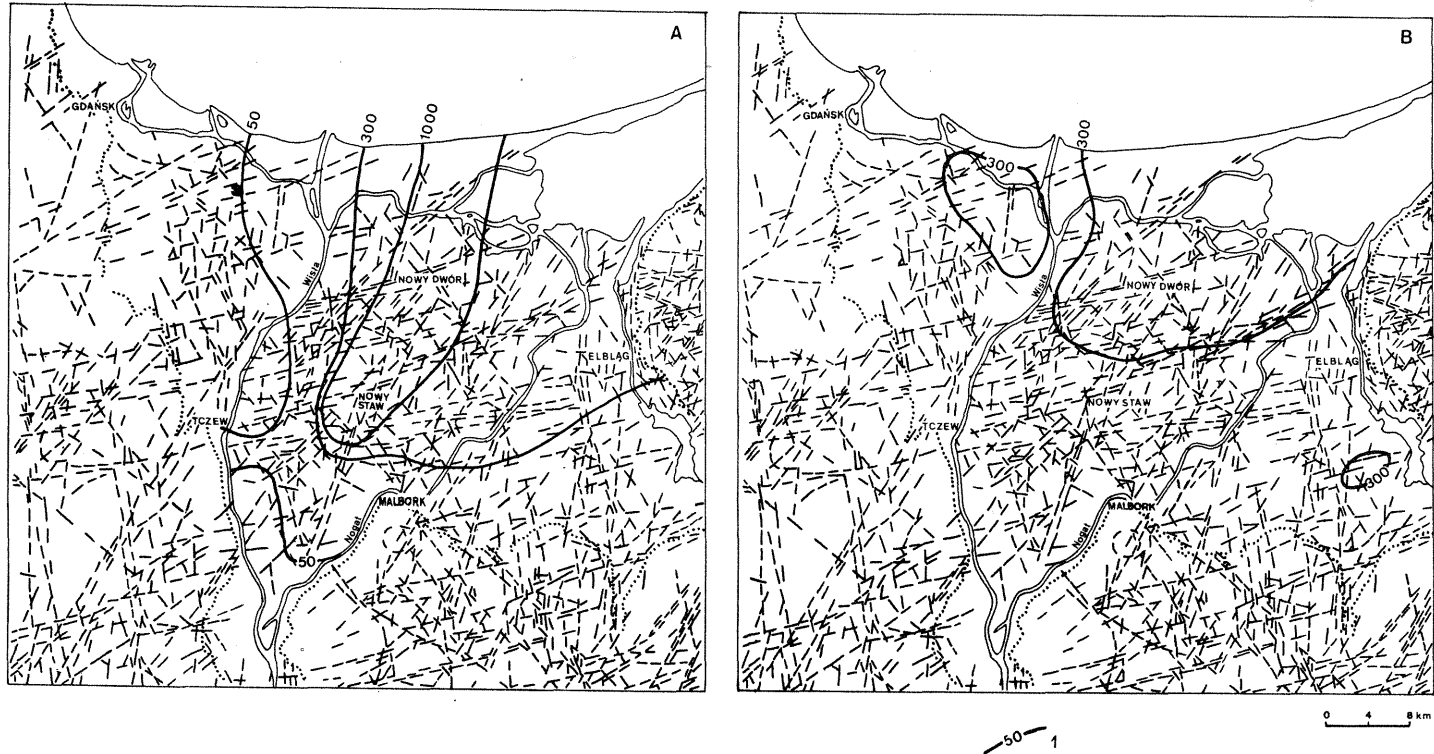


Fig. 7. Fotolineamenty a zasolenie wód podziemnych (według B. Kozerskiego, A. Kwaterkiewicza, 1984)

Landsat lineaments in relation to salinity of ground waters (after B. Kozerski, A. Kwaterkiewicz, 1984)

A – w serii węglanowej kredy; B – w utworach plejstoceńskich; 1 – izolinie zasolenia (w $\text{mg/dm}^3 \text{Cl}^-$); pozostałe objaśnienia jak na fig. 1

A – in the Cretaceous aquifer; B – in Pleistocene aquifer; 1 – contour lines of chlorine ion content in ppm; other explanations as given in Fig. 1

wej — łagodnymi formami wyniesień i obniżień, których pewna część daje się wpisać w sieć głównych trendów fotolineamentów. Tak wyrażone związki są czytelne nie na całym obszarze, ale dzieje się to prawdopodobnie głównie z braku wystarczająco dokładnego (rzadka sieć otworów wiertniczych) rozpoznania geologicznego, które w odniesieniu do szczegółów byłoby porównywalne ze szczegółowością interpretowanych obrazów teledetekcyjnych. Wydaje się, że stopień tej zgodności może wzrosnąć w miarę lepszego rozpoznania stropu kredy.

PODSUMOWANIE

Z przedstawionych rozważań wynika, że:

1. Fotolineamenty wyróżnione na zdjęciach satelitarnych Żuław Wiślanych z dużym prawdopodobieństwem można traktować jako wyraz projekcji na współczesną powierzchnię — poprzez kenozoiczną pokrywę złożoną z osadów sypkich i plastycznych — elementów tektonicznych związanych z dezintegracją spękania i uskokową kruchych kompleksów skalnych węglanowej serii kredy górnej. O możliwości takiej projekcji świadczy przede wszystkim regularność sieci obserwowanych fotolineamentów, trudna do wytłumaczenia w przypadku odrzucenia tezy o ich tektonicznym pochodzeniu.

2. Fotolineamenty należy wiązać z tym właśnie, najbliższym powierzchni planem struktur spękania i uskokowych ze względu na szczegółowość sieci, jaką tworzą. Charakter tej sieci świadczy o względnej swobodzie, z jaką uaktywniały się drobne nawet bloki, utworzone w wyniku rozwoju spękań serii węglanowej.

3. Ruchy blokowe w serii kredowej zachodziły zapewne nie tylko w holocenie, za czym przemawia widoczność fotolineamentów na dzisiejszej powierzchni, ale już wcześniej, zwłaszcza w plejstocenie, gdy na spękaną płytę kredową oddziaływały zmienne obciążenia powodowane cyklicznością zlodowaceń. Tym samym ruchy te mogły wpływać na zmienność układu sieci erozyjnej i strefowość sedymentacji osadów czwartorzędu.

4. Sieć fotolineamentów na Żuławach może reprezentować plan tektoniczny nie tylko górnej kredy, ale także serii jurajsko-kredowej, oraz zawierać pewne wpływy deformacji rozwiniętych w głębszych poziomach.

5. Hipoteza, określająca plan fotolineamentów jako formę prezentacji planu spękań i dyslokacji w kruchych węglanowych utworach stropu mezozoiku, w świetle przedstawionych danych jest możliwa do przyjęcia. Ponieważ istnieje przy tym duże prawdopodobieństwo wpływu ruchów blokowych na sedymentację i erozję w różnych okresach kenozoiku, należałoby liczne spośród występujących tu zjawisk geologicznych rozpatrywać na nowo z udziałem sieci rozpoznanych fotolineamentów. Przedtem jednak powyższą koncepcję trzeba sprawdzić w praktyce. Można to wykonać z chwilą uzyskania, na ograniczonym choćby obszarze, odpowiedniego zagęszczenia danych geologicznych np. w postaci sieci otworów sięgających kredy, o gęstości porównywalnej do gęstości sieci fotolineamentów. Jeśli podane sugestie znajdą potwierdzenie, to fotolineamenty mogłyby znaleźć zastosowanie jako wskaźniki stref zdyslokowania i ruchliwości podłoża. Można

by je również wykorzystać przy interpretacji przekrojów geologicznych i sporządzaniu map jako wskaźniki lokalizacji, orientacji i ciągłości poszukiwanych i rozpoznawanych zjawisk geologicznych na całych Żuławach Wiślanych.

Zakład Fotogeologii
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Wydział Hydrotechniki
Politechniki Gdańskiej
Gdańsk-Wrzeszcz, ul. Majakowskiego 11
Nadesłano dnia 11 lipca 1985 r.

PIŚMIENNICTWO

- AUGUSTOWSKI B. (1976) – Charakterystyka geomorfologiczna. W: Żuławy Wiślane, p. 175–188. Gd. Tow. Nauk. Gdańsk.
- BAŻYŃSKI J., GRANICZNY M. (1978) – Fotolineamenty i ich znaczenie w geologii. *Prz. Geol.*, 26, p. 288–296, nr 5.
- BAŻYŃSKI J. (1982) – Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. Instrukcje i metody badań geologicznych, z. 44, p. 1–110. Inst. Geol. Warszawa.
- DADLEZ R. red. (1980) – Mapa tektoniczna cechsztyńsko-mezozoicznego kompleksu strukturalnego na Niżu Polskim, skala 1:500 000. Inst. Geol. Warszawa.
- KARACZUN K., KUBICKI S., RYKA W. (1982) – Mapa litologiczna powierzchni podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, skala 1:500 000. Atlas geologiczny podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, tab. 2. Inst. Geol. Warszawa.
- KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A. (1984) – Strefowość zasolenia wód podziemnych i ich dynamika na obszarze delty Wisły. *Arch. Hydrotechn.*, 31, p. 231–255, nr 3.
- KOZERSKI B., MAJORKOWSKI A. (1976) – Budowa geologiczna i wody podziemne. W: Żuławy Wiślane, p. 113–132. Gd. Tow. Nauk. Gdańsk.
- KUBICKI S., RYKA W. (1982) – Mapa strukturalno-tektoniczna podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, skala 1:500 000. Atlas geologiczny podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, tab. 3. Inst. Geol. Warszawa.
- MAKOWSKA A. (1972) – Mapa geologiczna Polski, skala 1:200 000, wyd. B, ark. Grudziądz (z objaśnieniami). Inst. Geol. Warszawa.
- MAKOWSKA A. (1976) – Mapa geologiczna Polski, skala 1:200 000, wyd. B, ark. Iława (z objaśnieniami). Inst. Geol. Warszawa.
- MAKOWSKA A. (1977) – Mapa geologiczna Polski, skala 1:200 000, wyd. B, ark. Elbląg (z objaśnieniami – wyd. 1979) Inst. Geol. Warszawa.
- MOJSKI J.E. (1976) – Mapa geologiczna Polski, skala 1:200 000, wyd. B, ark. Gdańsk (z objaśnieniami) Inst. Geol. Warszawa.
- MOJSKI J.E. (1979) – Zarys stratygrafii plejstocenu i budowy jego podłoża w regionie gdańskim. *Biul. Inst. Geol.*, 317, p. 5–50.
- MOJSKI J.E. (1983) – Lithostratigraphic units of the Holocene and surface morphology of the bedrock in the northwestern part of the Vistula Delta Plain (Żuławy Wiślane). *Geol. Jb.*, A 71, p. 171–186.
- MOJSKI J.E., SYLWESTRZAK J. (1976) – Mapa geologiczna Polski, skala 1:200 000, wyd. A, ark. Gdańsk (z objaśnieniami) Inst. Geol. Warszawa.
- MUSIELAK S. (1971) – Wgłębna budowa geologiczna regionu gdańskiego *Zesz. Nauk. U. Gd., Geografia*, nr 1–1970, p. 95–126.

- PAZDRO Z. (1959) – Budowa geologiczna regionu gdańskiego. Roczn. Pol. Tow. Geol., **29**, p. 337–346, z. 4.
- RÜHLE E. (1974) – Pokrywa kenozoiczna W: Skąły platformy prekambryjskiej w Polsce, cz. 2 – Pokrywa osadowa. Pr. Inst. Geol., **74**, p. 186–232.
- SADURSKI A. (1977) – Studium zasobów kredowego piętra wodonośnego w rejonie Gdańska w świetle metod paleohydrogeologicznych. Arch. P. Gd. Gdańsk.
- SADURSKI A. (1985) – Warunki hydrogeologiczne utworów kredowych w rejonie Gdańska. Kwart. Geol., **29**, p. 405–417, nr 2.
- SADURSKI A., KIBITLEWSKI S., SANIEL-DANIELSKA B. (praca w druku) – Analiza statystyczna fotolineamentów obszaru Żuław Wiślanych. Arch. Hydrotechn.
- TYSKI S. red. (1977) – Budowa geologiczna syneklizy perybałtyckiej. Arch. Inst. Geol. Warszawa.

Барбара ДАНИЕЛЬ-ДАНИЕЛЬСКА, Станислав КИБИТЛЕВСКИ, Анджей САДУРСКИ

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ЛАНДСАТ ОБЛАСТИ ВИСЛИНСКИХ ЖУЛАВ

Резюме

Статья посвящена геологическому анализу различных видов космических снимков Ландсат, для которого были использованы разномасштабные многоспектральные снимки отдельных диапазонов (MSS), синтезированные композиции на многоспектральном проекторе (I²S) и стандартные цветные композиции (FCC), относящиеся к разным сезонам.

Фотолинементы, выявленные на снимках, регулярно ориентированы и располагаются по определенной системе. По всей вероятности они являются выражением воздействия на геологическое развитие вышележащего кайнозойского комплекса активных дизъюнктивных структур погребенного горизонта карбонатных пород верхнемелового возраста. Большинство генерирующих фотолинементы тектонических нарушений этого горизонта активизировались в послемеловое время, но некоторые из них действовали раньше. Фотолинементы следует считать следами блоковых подвижек мелового горизонта. Фотолинементы в области Вислинских Жулав могут означать места тектонических нарушений седиментационных и эрозионных процессов во время формирования кайнозойских и в особенности четвертичных отложений.

Перевод авторов

Barbara DANIEL-DANIELSKA, Stanisław KIBITLEWSKI, Andrzej SADURSKI

**GEOLOGICAL INTERPRETATION OF LANDSAT IMAGERY OF THE
VISTULA DELTA PLAIN (ŻUŁAWY WIŚLANE)**

S u m m a r y

Photogeological analysis of satellite imagery of the Vistula Delta Plain area was carried out on the basis of various Landsat materials, including photos from single channels of MSS, compositions on additive colour viewer, and standard colour compositions FCC in different scales and for different seasons.

Linear elements (lineaments) obtained as a distinct and regular pattern suggest their close relation to disjunctive tectonics. They are probably due to rejuvenation of disjunctive structures in brittle carbonate series of Upper Cretaceous age, underlying soft Cenozoic sediments. The majority of these discontinuities seem to be active since the latest Cretaceous (or early Cenozoic) till present, but some of them, could act also earlier. All the Cenozoic processes taking place in the Vistula Delta Plain area were influenced by this dissected into blocks and unstable series.

We ought to understand Landsat lineaments as traces (projection on surface) of active, buried structures and treat them as places of potential variability in geological setting of soft Cenozoic sedimentary cover.

Translated by the Authors