

## Wykorzystanie zdjęć satelitarnych dla kartowania geologicznego w warunkach klimatu tropikalnego

Marek Graniczny\*, Zbigniew Kowalski\*, Carlos Perez Perez\*\*, Jerzy Piotrowski\*, Stanisław Speczik\*

*Podstawę do dokonania weryfikacji istniejących granic geologicznych na obszarze Sierra del Purial (wschodnia Kuba), stanowiła kompleksowa analiza zdjęć satelitarnych Landsat TM i SPOT, rekonesans terenowy oraz próbki pobrane do badań. Wyniki badań potwierdziły ogólny plan strukturalny, lecz również wskazały na inny przebieg struktur tektonicznych niż dotychczas przyjmowano. Efektem analizy zdjęć satelitarnych było rozpoznanie oraz potwierdzenie występowania serpentynitów południowego pasma ofiolitowego, a także wyznaczenie anomalii tonalnych o potencjalnym znaczeniu geologicznym.*

**Słowa kluczowe:** teledetekcja, kartografia geologiczna, obszary tropikalne

Marek Graniczny, Zbigniew Kowalski, Carlos Perez Perez, Jerzy Piotrowski & Stanisław Speczik — **Application of satellite images for geological mapping in tropical regions.** Prz. Geol., 48: 130–136.

*Summary.* The comprehensive analysis of Landsat TM and SPOT satellite images was performed at the territory of Sierra del Purial in the Eastern Cuba province. The remote sensing analysis was supported by field reconnaissance and collection of samples. These complex investigations allowed to verify the geological boundaries. The general structural plan was confirmed also. The new tectonic lines were proposed as well as the tonal anomalies of geological significance. The new places of serpentinite occurrences of the southern ofiolitic zone have been discovered.

**Key words:** remote sensing, geological mapping, tropical regions

Najbardziej wschodnią części Kuby należąca do prowincji Oriente, a będąca przedmiotem niniejszego artykułu, jest zbudowana w dużej mierze ze skał zmetamorfizowanych. Wchodzą one w skład kilku niezależnych jednostek litostratygraficznych o randze formacji (formacja Chafarina, formacja Sierra Verde, formacja Güira de Jauco). Są one oddzielone od siebie systemami uskoku oraz lekko zmetamorfizowanymi kompleksami skał wulkanogeniczno-osadowych budujących centralną i zachodnią część masywu górskiego Sierra del Purial. Masyw ten od północy kontaktuje z zserpentynizowanymi ultrabazytami oraz melanżem serpentynitowym. Cały ten złożony zespół skalny graniczy od północy, wschodu i południa z młodymi osadami pokrywy trzeciorzędowo-czwartorzędowej.

Budowa wewnętrzna jednostek budujących masyw Sierra del Purial, jak i ich wzajemne relacje, nie są w dostatecznym stopniu poznane. Najbardziej wschodnią część masywu, jest zbudowana ze zmetamorfizowanych skał węglanowych wchodzących w skład formacji Chafarina. Są to silnie sfałdowane ciemno- lub jasnoszare marmury zawierające smugi grafitu lub łuszczyków oraz ślady bituminów. Lokalnie występują wkładki metasilitów i łupków węglanowych. Wiek tych utworów — określony na podstawie źle zachowanych otwornic — jest najprawdopodobniej górnójurajski. Na zachodzie formacja Chafarina kontaktuje z ciemnoszarymi lub czarnymi grafitowymi fylitami formacji Sierra Verde, których wiek, na podstawie ubogiej mikrofauny określono jako tytońsko-dolnokredowy. Miąższość formacji wynosi 300 m. Najsilniej zmetamorfizowana i litologicznie najbardziej złożona formacja Güira de Jauco kontaktuje południkowo z leżącą na wschód od niej formacją Sierra Verde. Jest ona zbudowana w głównej mierze z amfibolitów lub łupków amfibolitowych z wkładkami metasilitów i plagiognej-

sów. Sekwencja ta z licznymi płaskurami serpentynitowymi jest poprzecinana żyłami pegmatytowymi i drobnymi ciałami intruzywnymi o składzie diorytów. Wiek formacji oznaczony metodą K–Ar waha się w przedziale 72–75 mln lat, co odpowiada granicy kampan–mastrycht. W kierunku zachodnim formacja Güira de Jauco — poprzez strefę zserpentynizowanych ultrabazytów, diabazów i gabr — przechodzi w sekwencję skał osadowo-piroklastycznych Baracoa formacji Sierra del Purial, stanowiącej trzon masywu Sierra del Purial (Millan & Somin, 1985).

Wszystkie z wymienionych jednostek tekto-litostratygraficznych kontaktują ze sobą poprzez strefy nieciągłości o charakterze uskoku pionowych, dając w obrazie intersekcyjnym skomplikowaną mozaikę strukturalną.

Od północy masyw Sierra del Purial kontaktuje z kompleksem Mayari–Baracoa, zbudowanym z zserpentynizowanych skał ultrazasadowych. Pozycja tektoniczna tych skał nie jest w pełni wyjaśniona. Niektórzy autorzy (Khudoley & Meyerhoff, 1971; Shein i in., 1985) sądzą, że są to skały autochtoniczne, na które jest nasunięty masyw Sierra del Purial, inni natomiast (Knipper & Cabrera, 1974; Iturralde–Vincent, 1981, 1996; Puszczarowski, 1988; Puszczarowski i in., 1989) skłaniają się ku pogładowi o allochtoniczności kompleksu ultrazasadowego. Według tych ostatnich, ponad 1000 m miąższości zserpentynizowane ultramafity i melanż serpentynitowy, kompleksu Mayari–Baracoa, nasunęły się z południa na masyw Sierra del Purial w eocenie wyższym.

W zachodniej części masywu Sierra del Purial bezpośrednio na sekwencji Quiviján formacji Sierra del Purial leży potężnej miąższości (700 m) zespół brekcji środkowoeoceńskiej (formacja San Ignacio), złożony z fragmentów skał facji zieleńcowej i serpentynitów. Nad nią, niezgodnie leży środkowo- i górnioeoceński zespół skał fliszoidalnych, wchodzący w skład formacji San Luis.

### Fotointerpretacja zdjęć satelitarnych

Z terenu wschodniej Kuby pozyskano zdjęcie satelitarne Landsat TM zarejestrowane 15 stycznia 1985 r. oraz dwa zdjęcia SPOT w wersji panchromatycznej zarejestro-

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

\*\*Instituto de Geología y Paleontología, via Bianca C. Central Jan Miguel Del Padron C. De La Habana, 11000 Cuba

wane 28 grudnia 1994 r. Celowo zamówiono zdjęcia z okresu „zimowego”, aby zminimalizować nieco wpływ pokrywy roślinnej. Zamawiając wymienione zdjęcia zapewniono z jednej strony wysoką rozdzielczość spektralną — 7 kanałów Landsata TM w zakresie widzialnym oraz bliskiej i średniej podczerwieni, jak również wysoką zdolność rozdzielczą na powierzchni terenu — 10 m w przypadku zdjęć SPOT P. Do przetwarzania zdjęć wykorzystano oprogramowanie ER Mapper.

W pierwszym etapie przetwarzania przystąpiono do geokodowania zdjęć, wykorzystując w tym celu mapy topograficzne Kuby. Po wykonaniu tej operacji, przystąpiono do procedury wzmacniania obrazu, którego celem jest polepszenie czytelności zdjęcia, przez zwiększenie kontrastu pomiędzy odwzorowanymi na nim obiektami. W wyniku analizy histogramów poszczególnych 7 kanałów zdjęcia Landsat TM, wybrano optymalne warianty rozciągnięcia kontrastu. Wykonano również zabiegi wagowania zdjęć (dzielenia międzykanałowego), wyznaczenia składników głównych (PC 1 i 2) i filtracji. Wygenerowano także algorytm NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) charakteryzujący biomasa. Dane obrazowe zawarte na poszczególnych kanałach wyrażone są w stopniach szarości. Dlatego też, z reguły obrazy satelitarne są generowane z trzech różnych kanałów przepuszczanych przez barwne filtry — niebieski, zielony i czerwony. Powstają wówczas kompozycje barwne w kolorach nierzeczywistych. Można również wygenerować kompozycję w kolorach zbliżonych do naturalnych dobierając kanały w niebieskim, zielonym i czerwonym paśmie widma (zakres widzialny). W przypadku analizy zdjęć wschodniej Kuby wygenerowano różne kombinacje kanałów poszukując optymalnych warunków dla czytelności struktur tektonicznych, granic litologicznych i anomalii tonalnych, mogących mieć związek z mineralizacją.

W trakcie przetwarzania utworzono także kompozycję ze zdjęć Landsat TM i SPOT. Kompozycja taka kumuluje wartości obu systemów, rozdzielczości widmowej Landsat TM i zdolności rozdzielczej SPOT. W trakcie prac wykorzystano także inne materiały, takie jak: *Mapa Geologiczna Republiki Kuby w skali 1 : 250 000* wydana w 1998 r. (w wersji rastrowej), dane aeromagnetyczne (wersja wektorowa), geologiczne mapy terenowe w skali 1 : 100 000 (wersja wektorowa) oraz cyfrowy model terenu (DTM). Umożliwiło to wykonanie kompozycji „panoramicznych” poprzez nałożenie treści zdjęć satelitarnych na cyfrowy model terenu (DTM) oraz kompozycji teledetekcyjno-geofizycznych w wyniku zestawienia treści zdjęcia z danymi magnetycznymi (dane magnetyczne jako komponent 3. wymiaru) i in.

Wyniki analizy fotogeologicznej zdjęć przedstawiają się następująco:

1. Na zdjęciach satelitarnych z łatwością identyfikowane są masywy serpentynitowe. Wyróżniają się one wyraźnie od skał otoczenia ciemniejszym fototonem. Wiele kontaktów serpentynitów ze skałami otaczającymi ma charakter tektoniczny. Na zdjęciach dobrze czytelne są okna tektoniczne przedsariażowego podłoża, potwierdzające allochtoniczność sekwencji serpentynitowej.

Najbardziej czytelny obraz struktur uzyskuje się przy następującej konfiguracji kanałów:

TM 571, TM 573 (ryc. 1), TM 371 i TM 673 (zawsze obecny jest kanał 7). W podanych wariantach kolejność kanałów odpowiada zawsze sekwencji kolorów filtrów — niebieski, zielony, czerwony.

2. Na obszarze przez nas opracowywanym zaznaczają się trzy różne systemy uskoku, najprawdopodobniej różnego wieku:

□ najstarszy system o kierunku WNW–ESE, odpowiadający tzw. kierunkowi „kubańskiemu” oraz uskokowi Rito–Miraflores,

□ system NE–SW, występujący głównie w północnej i wschodniej części badanego obszaru (całkowity brak wyżej wymienionego kierunku w części południowej),

□ najmłodszy system NNW–SSE i zbliżony do południkowego, wyraźnie przecinający i przesuwający uskoki o kierunku WNW–ESE.

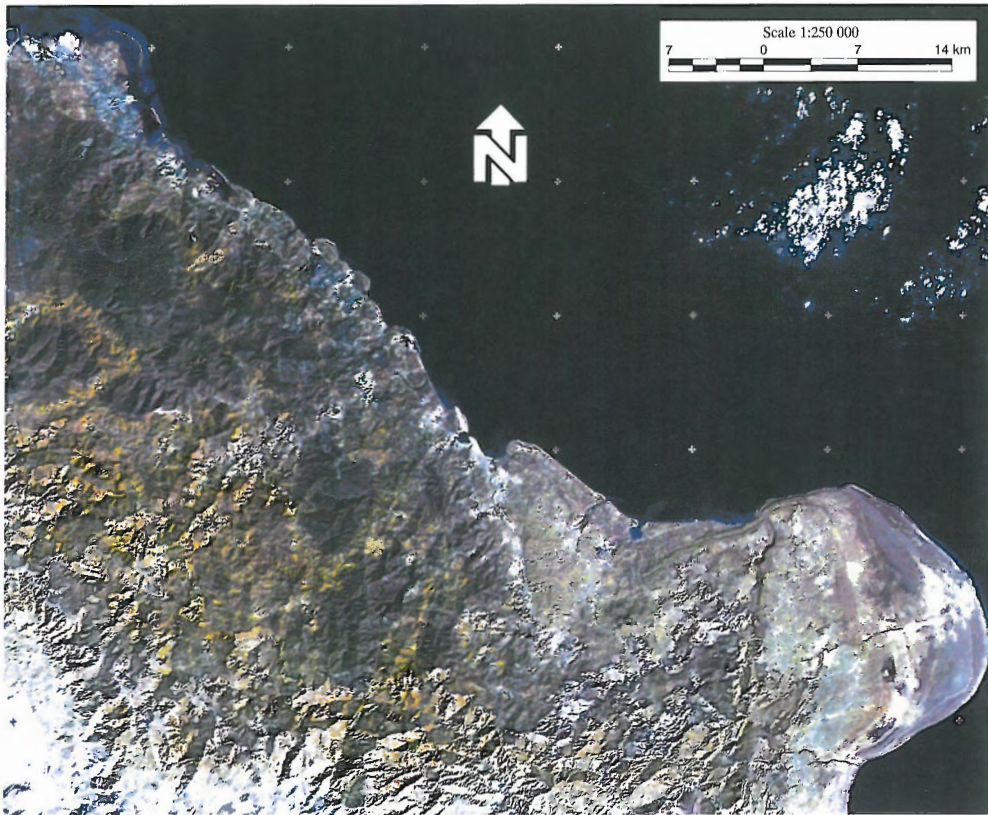
Główne kierunki uskoku są wyraźnie widoczne w obrazie fotolineamentów, zinterpretowanych na zdjęciach satelitarnych. Dominujące kierunki fotolineamentów to: zbliżone do południkowego (NNE–SSW i NNW–SSE), NE–SW, WNW–ESE, oraz zbliżony do równoleżnikowego (ryc. 2). Na podstawie analizy diagramu kierunków widać wyraźnie, że w obrazie satelitarnym najbardziej widoczne i częste są uskoki najmłodszego systemu (zbliżone do południkowego), najstarszy natomiast system „kubański” występuje z mniejszą częstotliwością.

Systemy uskoku są najlepiej widoczne na konfiguracji kanałów: TM 573, TM 571 i TM 673.

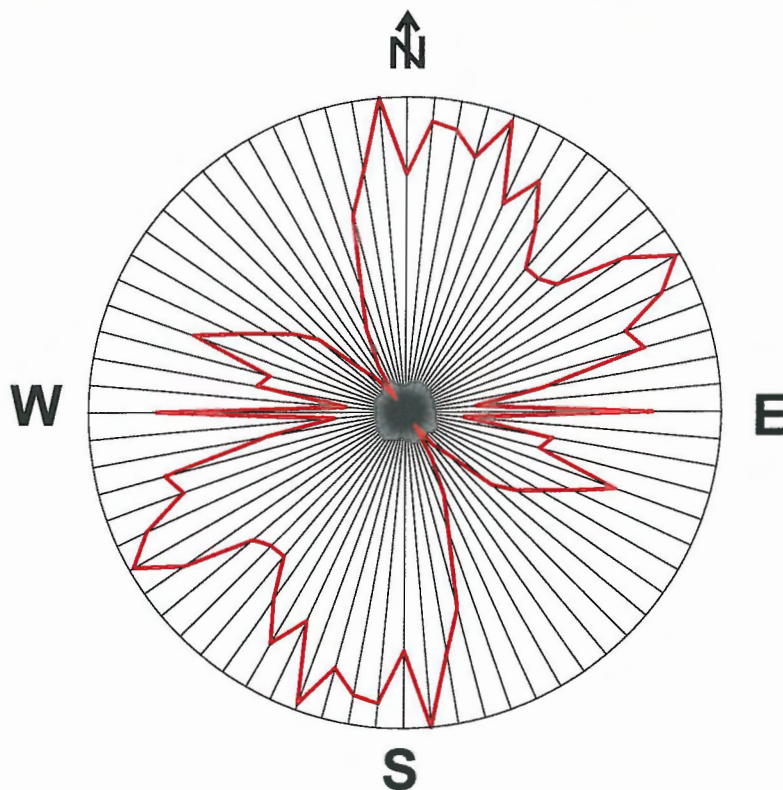
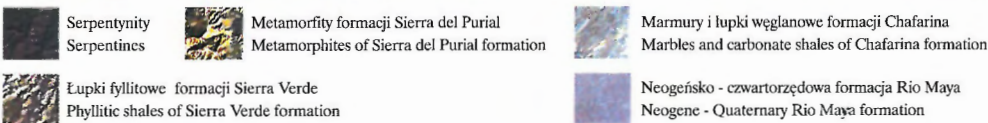
3. Badany rejon jest rozdzielony na trzy duże bloki ograniczone uskokami o kierunkach zbliżonych do południkowego (ryc. 3):

□ blok zachodni jest trójdzielny. Od północy w skład jego wchodzi ofiolity Mayari–Baracoa (zserpentynizowane ultrabazyty, melanz serpentynitowy oraz gabroidy i diabazy), nasunięte na metamorfity Sierra del Purial, składające się z dwóch sekwencji kredowych utworów wulkanogeniczno-osadowych. Bardziej północna sekwencja Quiviján jest zbudowana z metatufitów psamitowych i metatufobrekcji psefitowych o składzie bazaltowym oraz bardziej południowa sekwencja Jojo, w skład której wchodzi skały piroklastyczne o kompozycji bazaltowej i — w odróżnieniu od sekwencji poprzedniej — skały o składzie andezytowym i riolitowo-dacytowym. Na południu masywu Sierra del Purial (sekwencja Jojo) skały osiągają stopień metamorfizmu odpowiadający facji łupków zielenicowych (albit, serycyt, epidot, chloryt, aktynolit, rzadziej glaukofan, pumpelit i styloptomelan), na północy natomiast (sekwencja Quiviján) utwory są przeobrażone w niewielkim stopniu (chloryt, epidot, prenit, pumpelit, rzadziej aktynolit — Millan & Somin, 1985). Najmłodsze osady występują w południowej części bloku bezpośrednio przylegającej do morza. W skład ich wchodzi nasunięte z S sekwencje paleogeńskie (formacje San Ignacio, San Luis i Maquey) oraz autochtoniczna pokrywa neogeńska-czwartorzędowa. Rzeźba omawianego bloku jest urozmaicona, a deniwelacje wahają się w przedziale 500–1000 m;

□ blok centralny jest zbudowany ze skał podobnych do tych z bloku zachodniego. Budowa strukturalna jego jest jednak nieco różna. Masywy ofiolitowe mają tu kształt wydłużony w kierunku NW–SE, ich miąższość jest mniejsza aniżeli w bloku zachodnim i są rozdrobione na szereg drobniejszych elementów skalnych oddzielanych od siebie pionowymi uskokami lub strefami uskoku. W wielu miejscach spod sekwencji ofiolitowej, ukazują się w oknach tektonicznych niżej leżące utwory, należące do jednostek płaszczowinowych Sierra del Purial. Są one silnie rozbudowane na S od utworów ofiolitowych. Ta część masywu Sierra del Purial jest zbudowana z sekwencji Río Baracoa, w skład której wchodzi skały pochodzenia wulkanogenicznego (przeważnie piroklastyczne) oraz piaskowce polimiktyczne i wapienie. Zarówno skład wulkanitów, jak i stopień metamorfizmu skał jest bardzo zbliżony do sekwencji Quiviján z bloku zachodniego. Utwory masywu Sierra del Purial na południu bloku kontaktują z nasunięty-



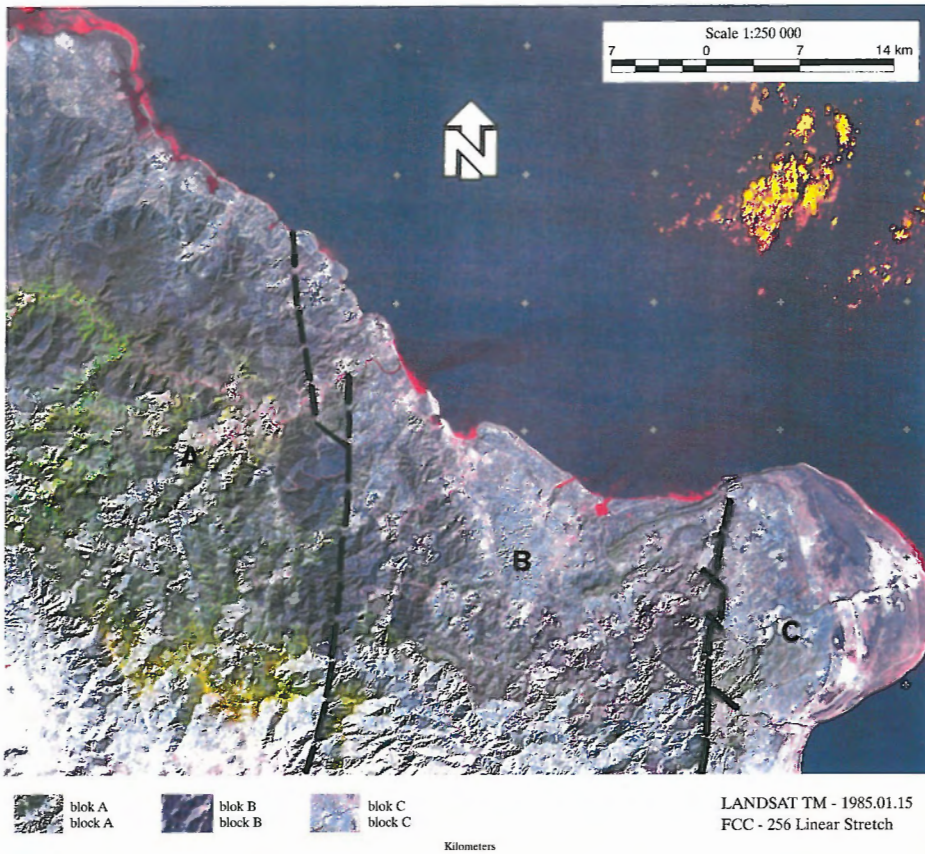
**Ryc. 1.** Zdjęcie satelitarne Landsat TM z terenu wschodniej Kuby zarejestrowane 15 stycznia 1985 r. Konfiguracja kanałów TM 5,7,3 przy zastosowaniu kontrastowania liniowego  
**Fig. 1.** Landsat TM satellite image of Eastern Cuba registered 15 January 1985. Combination of three bands TM 5,7,3 enhanced by linear stretch



**Ryc. 2.** Diagram kołowy fotolineamentów zinterpretowanych na zdjęciach satelitarnych Landsat TM i SPOT  
**Fig. 2.** Diagram of lineaments interpreted at the Landsat TM and SPOT images

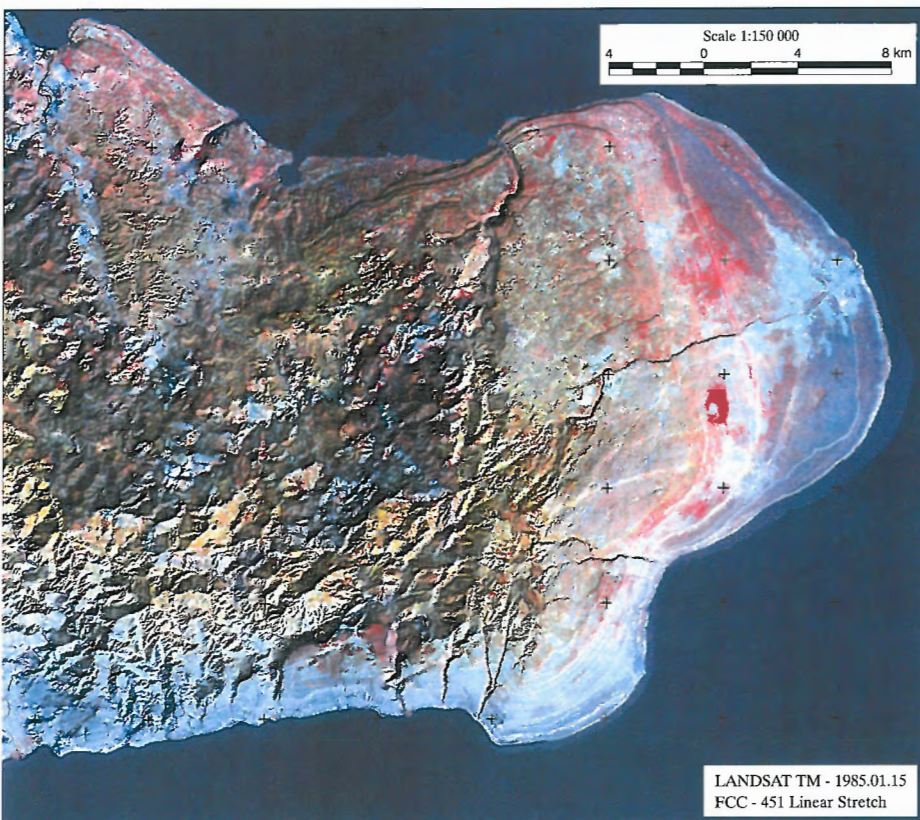
mi z południa skałami paleogeńskimi (formacje San Ignacio, San Luis i Maquey) oraz z transgresywnie leżącymi utworami autochtonicznej pokrywy neogeńsko-czwartorzędowej. W północnej części bloku z sekwencją ofiolitową kontaktują górnokredowe utwory formacji Picota oraz paleogeńsko-dolnoneogeńskie skały formacji Castillo de los Indios, Maquey, Cabacu i Capiro, na których spoczywa pokrywa późnoneogeńsko-czwartorzędowa. Deniwelacje terenu wahają się tutaj w przedziale 400–600 m;

□ blok wschodni obejmuje amfibolity i łupki amfibolitowe Güira de Jauco, których wiek określony na 72–75 mln odpowiada granicy kampan-mastrycht, a także metaterygeniczne osady górnourajskie formacji Sierra Verde (ciemne fyllity o składzie — serycyt, grafit, kwarc, chloryt, albit, rzadziej lawsonit) oraz metawęglanowe osady jurajskie formacji Chafarina (marmury). Każda z formacji jest oddzielona od sąsiedniej pionowymi uskawkami o przebiegu zbliżonym do południkowego. Rzeźba terenu nie jest zbyt urozmaicona. Dobrze wykształcone są neogeńskie i czwartorzędowe tarasy morskie. Naj-



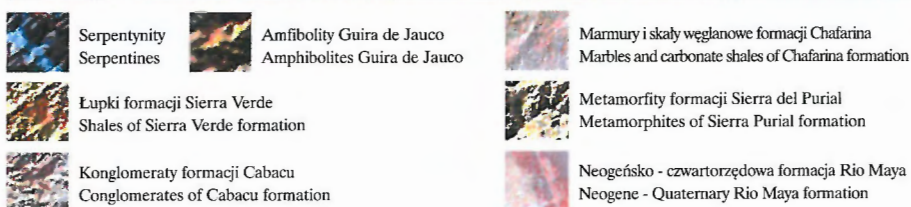
Ryc. 3. Zdjęcie satelitarne Landsat TM z terenu wschodniej Kuby zarejestrowane 15 stycznia 1985 r. Konfiguracja kanałów TM 2, 5, 6 przy zastosowaniu kontrastowania liniowego. Propozycja podziału na trzy duże bloki (A, B i C) rozdzielone uskokami o kierunkach zbliżonych do południkowych

Fig. 3. Landsat TM satellite image of Eastern Cuba registered 15 January 1985. Combination of three bands TM 2, 5, 6 enhanced by linear stretch. Proposal of three blocks (A, B and C) separated by faults of directions close to meridional



Ryc. 4. Zdjęcie satelitarne Landsat TM z terenu wschodniej Kuby zarejestrowane 15 stycznia 1985 r. Konfiguracja kanałów TM 451 przy zastosowaniu kontrastowania liniowego. Przykład analizy związków fotonów na zdjęciu z różnymi kompleksami litologicznymi

Fig. 4. Landsat TM satellite image of Eastern Cuba registered 15 January 1985. Combination of three bands TM 451 enhanced by linear stretch. Example of relations between photographic tones and lithological complexes





Ryc. 5. Miejscowość Tortuguilla, na zdjęciach fragmenty trzeciorderowych i czwartorderowych tarasów morskich  
Fig. 5. Tortuguilla town, fragments of Tertiary and Quaternary sea terraces



Ryc. 6. Trasa rekonesansu terenowego przeprowadzonego w marcu 1999 na tle zdjęcia satelitarne Landsat TM  
Fig. 6. Route of field reconnaissance in March 1999 against satellite image background

lepsza konfiguracja kanałów TM 256, TM 562 oraz TM 214.

4. W trakcie interpretacji okazało się, że istnieje możliwość potwierdzenia wielu wyznaczonych uprzednio granic geologicznych. W kilku przypadkach granice te należy jednak ponownie sprawdzić, ponieważ ich przebieg na zdjęciu rysuje się w całkowicie odmienny sposób. Analiza fototonów oraz tekstury zdjęć w dużej mierze umożliwia śledzenie oraz rozróżnienie kompleksów litologicznych oraz struktur tektonicznych. Jest interesujące, że możliwości takie istnieją pomimo obfitej pokrywy roślinnej (w części centralnej badanego obszaru). Zdecydowana większość roślinności na badanym terenie występuje w stanie naturalnym. Dlatego też zmiany składu podłoża geologicznego odzwierciedlają się zmianami kompozycji pokrywy roślinnej i co za tym idzie zmianami fototonów na zdjęciach satelitarnych. Szczególnie jest to wyraźne w przypadku masywów serpentynitowo- ofio-

litowych (ryc. 4). Najlepsza konfiguracja kanałów TM 451, TM 452 i TM 573.

5. Wielu autorów zajmujących się badanym obszarem wskazywało na fakt, że metamorfity Sierra del Purial są niejednorodne. Potwierdza się to również w obrazie satelitarnym. Miejsca wyznaczone w trakcie fotointerpretacji powinny być sprawdzone w terenie, aby przekonać się, czy zmiany te są związane ze stopniem metamorfizacji, czy wynikają ze zróżnicowania litologicznego. Najlepsza konfiguracja kanałów: TM 3,1, PC1.

6. W centralnej części badanego terenu w obrębie metamorfitów Sierra del Purial zidentyfikowano anomalię tonalną o rozmiarach 4 x 5 km (współrzędne centra anomalii — 728680E i 184120N). Może być ona związana ze zmianami kompozycji litologicznej osadów. Na kompozycji TM 673 można ponadto zauważyć wiele mniejszych analogicznych anomali, które mogą być związane nieco z innym składem serpentynitów oraz z pozostałościami erodowanych pokryw ofiolitowych.



Ryc. 7. Ogólny widok na masyw Sierra del Purial  
Ryc. 7. General overview of Sierra del Purial massif

7. W południowej części obszaru zaznacza się serpentynitowy masyw „Sierra del Convento”, który w sposób wyraźny różni się od serpentynitowych masywów występujących na północy. Jest to najprawdopodobniej związane z obecnością eklogitów i amfibolitów nie występujących na północy. Najlepiej masyw jest widoczny na kompozycji TM 731.

W pobliżu południowego brzegu morza, pomiędzy osadami metamorficznymi oraz młodymi utworami osadowymi, na zdjęciach można zauważyć miejsca, które na podstawie charakterystyki spektralnej można utożsamiać z serpentynitami. Miejsca te należy sprawdzić w trakcie szczegółowych prac terenowych.

8. W południowo-zachodniej części badanego obszaru zinterpretowano strukturę pierścieniową (składającą się z dwóch pierścieni). Wewnętrzny pierścień pokrywa się częściowo z przebiegiem rzeki Jojo. Centrum struktury przypada (na podstawie porównania z mapą geologiczną 1 : 250 000) w miejscu występowania zmetamorfizowanych granitów. Najlepiej struktura jest widoczna na kompozycji TM PC1,5,3 oraz kompozycji utworzonej z TM PC1,5,3 oraz cyfrowego modelu terenu.

9. Młode osady położone na południu i wschodzie badanego terenu są bardzo dobrze widoczne i rozróżnialne na zdjęciach satelitarnych. Szczególnie wyraźnie można wyodrębnić neogeńsko-czwartorzędowe tarasy morskie (ryc. 5).

### Rekonesans terenowy

Pięciodniowy rekonesans terenowy został przeprowadzony w marcu 1999 r. na obszarze objętym zdjęciem satelitarnym Landsat TM wzdłuż trasy: Guantanamo–San Antonio del Sur–Imias–Rio Yumuri–Baracoa–Moa (ryc. 6).

W trakcie rekonesansu dokonano weryfikacji fotointerpretacji zdjęcia satelitarnego w wybranych, charakterystycznych miejscach. Opisano, sfotografowano oraz zlokalizowano za pomocą GPS (podręczny instrument GPS 38–Personal Navigator, GARMIN) charakterystyczne miejsca w obrębie:

□ rafowej formacji węglanowej Jaimanitas (plejstocen górny) zbudowanej z wapieni biodetrytycznych (lokalnie bioherm) z liczną, bardzo dobrze zachowaną fauną koralów, ślimaków oraz masywnych kalkarenitów i margli. Lokalnie utwory formacji Jaimanitas znajdują się na wysokości około 300 m (punkty: 6, 9) — punkty nr 2, 3, 6, 9, 17. (numeracja punktów zgodna z ryc. 6 oraz tab. 1);

□ utworów formacji Maquey (oligocen górny–miocen dolny), złożonej z przelających się piaskowców, mułowców wapiennych i margli białokremowych, zawierających wkładki wapieni biodetrytycznych i wapieni piaszczystych. — punkty nr 1, 4, 5;

□ skał formacji San Luis (eocen środkowy–eocen górny), w której skład wchodzi piaskowce i zlepnieńce polimiktyczne, mułowce, margle oraz wapienie piaszczyste i biodetrytyczne — punkt nr 4, 5, 9;

□ plioceńsko–plejstoczeńskiej formacji Río Maya złożonej z algowych i koralowych (*Acropora prolifera*) wapieni biohermowych. Wapienie często są zdolomityzowane. Lokalnie wkładki zlepnieńców polimiktycznych — punkty nr 5, 7, 9;

□ formacji Cobre wywodzącej się z wulkanicznego łuku wysp (paleogen) i złożonej z tufitów, andezytów, bazaltów, zlepnieńców i piaskowców polimiktycznych oraz nielicznych wkładek wapieni. Opracowanie laboratoryjne próbki z jednego z odsłoneń potwierdziło obecność tufitów o składzie zbliżonym do andezytowego. Wynik analizy chemicznej próbki (w procentach): SiO<sub>2</sub> — 65,38, TiO<sub>2</sub> — 0,54, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 13,21, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 4,72 MnO — 0,071,

MgO — 1,80, CaO — 2,74, Na<sub>2</sub>O — 2,08, K<sub>2</sub>O — 2,67, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,106 wilg. — 2,37; Co (ppm) — 11, Cr (ppm) — <5, Ni (ppm) — 6 — punkt nr 8;

□ formacji Sierra del Purial (apt?–kampan), złożonej w głównej mierze z tufitów i aglomeratów o składzie andezytobazaltowym, andezytodacytowym i bazaltowym oraz bazaltów, piaskowców polimiktycznych i wkładek wapieni (ryc. 7). Skały są w niewielkim stopniu zmetamorfizowane. Formacja Sierra del Purial jest częściowym odpowiednikiem formacji Río Baracoa — punkty nr 10, 11, 12. Próbką pobrana do analizy w punkcie 10 jest bardzo silnie stektonizowana, co uniemożliwia w praktyce identyfikację skały pierwotnej. Pobrana próbka okazała się być mylonitem kwarcowym o następującym składzie: SiO<sub>2</sub> — 59,66, TiO<sub>2</sub> — 0,41, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 15,29, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 4,72 MnO — 0,088, MgO — 6,67, CaO — 2,43, Na<sub>2</sub>O — 5,97, K<sub>2</sub>O — 0,19, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,042, wilg. — 0,18, Co (ppm) — 17, Cr (ppm) — 63, Ni (ppm) — 29;

□ formacji Cabacú (oligocen górny–miocen dolny), złożonej ze zlepnieńców i piaskowców polimiktycznych (ultramafity i wulkanity), mułowców oraz margli;

□ neogeńskiej formacji Cabo Cruz (miocen środkowy–miocen górny), w której skład wchodzi wapienie biodetrytyczne miejscami silnie piaszczyste, lokalnie z wtęczeniami fosforytowymi, zlepnieńce oraz margle — punkt nr 16;

□ plejstoczeńskich tarasów, znajdujących się obecnie na wysokości około 400 m n.p.m. — punkt nr 3;

□ serpentynitów (północnych) wchodzących w skład potężnego masywu ofiolitowego Moa–Baracoa i nasuniętych z południa na masyw Sierra del Purial (punkt nr 13), oraz serpentynitów (południowych). Wynik analizy chemicznej próbki z punktu nr 13: SiO<sub>2</sub> — 38,74, TiO<sub>2</sub> — 0,01, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0,80, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 7,39, MnO — 0,100, MgO — 36,56, CaO — 0,07, Na<sub>2</sub>O — 0,10, K<sub>2</sub>O — 0,04, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,006, wilg. — 2,07, Co (ppm) — 89, Cr (ppm) — 2160, Ni (ppm) — 1799; punkty nr 8, 13;

□ pokryw laterytowych — punkt nr 14;

Na zdjęciach satelitarnych obszary występowania serpentynitów charakteryzują się ciemnoniebieskim fototonem z uwagi na stres wegetacji, m.in. na obszarach tych nie rosną palmy. Wyróżniają się one od pokryw zwietrzelinowych, które na zdjęciu cechuje fototon jasnoniebieski związany z bogatszą pokrywą roślinną. W trakcie rekonesansu w dwóch miejscach potwierdzono obecność serpentynitów rozpoznanych na zdjęciu satelitarnym. Podczas poprzedniego kartowania geologicznego nie zostały one wyróżnione. Największa anomalia rozpoznana na zdjęciu nie została zweryfikowana ze względu na niedostępność terenu i brak dróg dojazdowych. Geolodzy kubańscy przeprowadzą jej sprawdzenie w późniejszym terminie.

W sumie udokumentowano 15 stanowisk (tab. 1). W trzech miejscach pobrano próbki do analizy.

### Podsumowanie

Oceniając wyniki analizy fotogeologicznej z punktu widzenia metodycznego należy zwrócić uwagę na kilka interesujących faktów. Najdogodniejszymi wariantami kompozycji barwnych zdjęć wschodniej Kuby okazały się konfiguracje kanałów: TM 573, TM 571 oraz TM 731.

Chavez (1984) rozpatrując możliwe warianty konfiguracji kanałów — w przypadku Landsat TM — 20, obliczył współczynnik OIF (*Optimum Index Factor*) charakteryzujący informacyjność poszczególnych kompozycji. Najwyższym współczynnikiem charakteryzują się kompozycje: TM 457 (21.43), TM 345 (19.99) oraz TM 145 (19.69). Żadna z tych trzech pierwszych kompozycji

## Współrzędne geodezyjne punktów B, L w układzie WGS84 pomierzonych w czasie wizji terenowej we Wschodniej Kubie (25–30.03.1999)

Lp.	Nazwa	Szerokość B (WGS84)	Długość L (WGS84)	Uwagi
1	Guantanamo	20° 01' 54.2	75° 03' 21.3	Punkt, z którego jest widoczna Baza marynarki USA. Formacja Maquey
2	Tortuguilla	19° 58' 32.1	74° 56' 46.2	Formacja Jaimanitas
3	Tortuguilla	19° 58' 32.6	74° 55' 31.3	Taraszy o wysokości 400 n.p.m
4	El Naranjo	20° 01' 19.3	74° 52' 38.2	Na północ Formacja San Luis, na południe Formacja Maquey
5	Baitiquiri	20° 02' 13.2	74° 51' 37.7	Salina Baitiquiri
6	Macambo	20° 03' 12.1	74° 43' 16.6	Rzeka Macambo. Formacja Jaimanitas.
7	Plaža Cajobabo	20° 04' 02.4	74° 28' 28.0	Plaža Cajobabo. Miejsce lądowania Jase Martiego.
8	Cajobabo	20° 04' 19.3	74° 29' 16.9	Wieś Cajobabo. Formacja El Cobre. Miejsce pobrania próbek skał do badań laboratoryjnych (nr 1).
9	Imias	20° 04' 11.5	74° 37' 52.3	Miejscowość Imias. Formacja San Luis.
10	Veguita	20° 07' 22.6	74° 28' 54.9	Okolice rzeki Jojo. Formacja Sierra del Purial. Miejsce pobrania próbek skał do badań laboratoryjnych (nr 2)
11	Źródło	20° 08' 57.1	74° 28' 49.9	Źródło w pobliżu wiaduktu La Farola
12	Punkt widokowy	20° 08' 37.1	74° 29' 08.3	Formacja Sierra del Purial
13	Alto de Cotilla	20° 10' 19.6	74° 29' 00.9	Miejsce pobrania próbek skał serpentynitowych do badań laboratoryjnych (nr 3)
14	Lateryty	20° 11' 05.5	74° 28' 56.3	Pokrywy laterytowe
15	Cabacu	20° 18' 40.0	74° 28' 57.0	Miejscowość Cabacu. Formacja Cabacu
16	Yumuri	20° 18' 03.3	74° 17' 49.8	Rzeka Yumuri. Formacja Cabo Cruz
17	Baracoa	20° 20' 52.4	74° 29' 42.2	Miejscowość Baracoa. Skały Formacji Jaimanitas

nie okazała się szczególnie przydatna w przypadku zdjęć Kuby. Natomiast wyróżnione kompozycje TM 573 (19.25), TM 571 (18.68) i TM 731 (12.71) zajmują kolejno czwartą, piątą i czternastą pozycję na liście OIF. Może to świadczyć o ich wyjątkowej przydatności w warunkach klimatu tropikalnego. Poza wymienionymi wariantami dobre wyniki osiągnięto przy generowaniu kompozycji z udziałem pierwszego składnika głównego PC 1 oraz kanału 6, który dokonuje rejestracji promieniowania cieplnego emitowanego z powierzchni Ziemi w dalekiej podczerwieni.

Uzyskane uwagi metodyczne są niezwykle istotne z punktu widzenia przewidywanej realizacji przez Państwowy Instytut Geologiczny projektów w krajach Ameryki Łacińskiej. Pierwsza faza tych projektów z reguły obejmuje fotogeologiczną analizę zdjęć satelitarnych, która ukierunkowuje dalsze badania i pozwala na pozyskanie informacji z terenów trudno dostępnych.

Uzyskane wstępne wyniki badań należy uznać za niezwykle obiecujące. Należy tutaj w pierwszym rzędzie wymienić:

- weryfikację istniejących granic geologicznych,
- zaproponowanie przebiegu skorygowanych granic geologicznych,
- potwierdzenie ogólnego planu strukturalnego oraz wskazaniem innego przebiegu struktur tektonicznych niż dotychczas przyjmowano (w tym podziału terenu na trzy regionalne bloki tektoniczne),
- wyznaczenie anomalii tonalnych o potencjalnym znaczeniu geologicznym,
- potwierdzenie w trakcie rekonesansu terenowego i badań laboratoryjnych występowania serpentynitów ofiolitowego pasma południowego rozpoznanych na zdjęciach satelitarnych.

Dotychczas wykonane badania nie pozwoliły jednoznacznie określić przynależności serpentynitów występujących na południe od masywu Sierra del Purial do północnego bądź południowego pasma ofiolitowego.

3. Przewiduje się kontynuację badań zachodniej części masywu Sierra del Purial oraz ofiolitowej strefy Mayari — Baracoa, przykrytej pokrywą laterytową o dużej miąższo-

ści. Pokrywa ta ma duże znaczenie złożowe (kobalt, nikiel) W kolejnym etapie zostanie przeprowadzona analiza fotogeologiczna sąsiedniego zdjęcia satelitarnego Landsat TM (od strony zachodniej) pokrywającego wraz z pierwszym zdjęciem całość kompleksu Mayari—Baracoa zbudowanego z serpentynizowanych skał ultrazasadowych. Obszar zdjęcia ograniczony jest miejscowościami; Guantanamo—Santiago de Cuba—Mayari—Cayo Mambi. Oprócz analizy fotogeologicznej przewiduje się również przeprowadzenie powtórnego rekonesansu terenowego oraz opracowanie raportu końcowego. Szczególny nacisk zostanie położony na aspekt złożowy badanego terenu z uwagi na zainteresowanie inwestorów polskich surowcami mineralnymi Kuby.

### Literatura

- CHAVEZ P.S. Jr. 1984 — Digital processing techniques for image mapping with Landsat TM and SPOT simulation data, International Symposium on Remote Sensing of Environment, Paris.
- ITURRALDE-VINENT M.A. 1981 — Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba. Rev. Ciencias de la Tierra y del Espacio, 3: 51–90.
- ITURRALDE-VINENT M.A. 1996 — Geología de las ofiolitas de Cuba en: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Project 364. Inter. Geol. Correl. Prog. Spec. Cont., 1: 3–35, La Habana.
- KHUDOLEY C.M. & MEYERHOFF A. 1971 — Paleogeography and geological history of Greater Antiles. Geol. Soc. America. Mem., 129: 1–199.
- KNIPPER A.L. & CABRERA R. 1974 — Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio-y eugeosinclinal del cinturón hiperbasáltico de Cuba. [En:] Contr. Geol. Cuba, Acad. Cienc. Pub. Espec., 2: 15–77.
- MILLAN G. & SOMIN M.L. 1985 — Contribucion al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial, Reporte de Investigacion del Instituto de Geología y Paleontología no. 2, Academia de Ciencias de Cuba.
- PUSZCZAROWSKI YU. 1988 — Mapa geológico de la República de Cuba escala 1 : 250 000 (42 sheets). Acad. Sci. Cuba and USSR.
- PUSZCZAROWSKI YU., MOSSAKOVSKY G., NEKRASOV S., SOKOLOV M., ITURRALDE-VINENT 1989 — Tectonics of the Republic of Cuba. Explanatory note to the tectonic map of Cuba scale 1: 500 000 (en ruso), Ed. Nauka, Moscow: 77.
- SHEIN V., MAXIMOV S., YPARRAGUIRRE J. 1985 — Nota explicativa al Mapa Tectónico de Cuba, a escala 1: 500 000. MINBAS. La Habana.