

## Fotogeologiczna analiza zdjęć satelitarnych Landsat ETM+ w rejonie Abu Simbel–Tushka (Egipt)

Marek Graniczny\*, Zbigniew Kowalski\*, Hamza A. Ibrahim\*\*, Moustafa M. Youssef\*\*

*Na podstawie fotointerpretacji zdjęć satelitarnych Landsat ETM+ w rejonie Abu Simbel–Tushka (południowy Egipt) dokonano wstępnej oceny warunków geologicznych. W trakcie przetwarzania zdjęć i wzmacniania jakości obrazu przetestowano wiele wariantów kompozycji różnych kanałów widmowych. Zdecydowanie najlepszą kombinacją dla warunków klimatu pustynnego okazał się wariant TM 321. Bardzo istotnym okazało się również dodanie kanału panchromatycznego, charakteryzującego się wyższą zdolnością rozdzielczą (15 m.). Wyznaczone w trakcie fotointerpretacji zdjęć granice litologiczne, linie tektoniczne, ostańce erozyjne oraz utwory czwartorzędowe cieków okresowych zostaną zweryfikowane w trakcie wizji terenowej oraz w aspekcie materiałów archiwalnych i wyników badań geofizycznych.*

**Słowa kluczowe:** teledetekcja, kartowanie geologiczne, obszary pustynne

Marek Graniczny, Zbigniew Kowalski, Hamza A. Ibrahim, Moustafa M. Youssef — Preliminary photogeological analysis of the Landsat ETM+ imagery in the Abu Simbel – Tushka region (Egypt). *Prz. Geol.*, 48: 1181–1186.

*S u m m a r y. Preliminary evaluation of geological conditions of the Tushka–Abu Simbel region (Southern Egypt) was performed on the basis of Landsat ETM+ satellite image interpretation. Several variants of band combination have been tested during the image processing and enhancement. TM 321 band combination is best for photogeological analysis of the desert areas. Application of panchromatic band, characterized by higher ground resolution (15 m.) was very important, too. Lithological boundaries and tectonic lines interpreted at the satellite image will be verified during field reconnaissance, analysis of archive data and results of geophysical investigations.*

**Key words:** remote sensing, geological mapping, desert areas

Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie przystąpił w 1999 r. do współpracy z Wydziałem Geologii Uniwersytetu Assiut w Egipcie, w celu wspólnych badań na terenie południowo-zachodniego Egiptu w rejonie terenów nowo projektowanych osiedli Abu Simbel i Tushka (ryc.1).

Jednym z priorytetowych projektów realizowanych obecnie przez rząd Egiptu jest „Południowa dolina Nilu”. Projekt ten ma na celu częściowe złagodzenie problemów gęsto zaludnionych obszarów północnej części doliny Nilu oraz delty Nilu. W trakcie jego realizacji zostaną zbadane i wytypowane do zagospodarowania tereny w południowej części doliny. Mają tutaj powstać nowe aglomeracje, linie komunikacyjne oraz tereny rolnicze. Jednym z perspektywicznych obszarów są okolice Abu Simbel–Tushka zlokalizowane w południowo-zachodnim Egipcie, na zachodnim brzegu Jeziora Nassera. Rejon ten posiada także wysokie walory turystyczne, podkreślone sławną świątynią w Abu Simbel, wzniesioną przez Ramzesa II Wielkiego, która należy do najcenniejszych zabytków w Egipcie z epoki faraonów.

Celem badań jest określenie warunków geologicznych (litologii i tektoniki) oraz zagrożeń geosrodowiskowych rejonu Tushka–Abu Simbel za pomocą zintegrowanej analizy danych teledetekcyjnych, geologicznych (archiwalnych i terenowych) oraz geofizycznych.

W ramach realizacji pierwszego etapu badań dokonano przeglądu dotychczas wykonanych prac i badań w zakre-

sie: geomorfologii, geologii, klimatologii, hydrogeologii, geofizyki i geologii historycznej (Boulos i in., 1986–1989, Jux & Issawi, 1983; Klitzsch i in., 1979; Riad i in., 1978; Riad & Hosney, 1992; *Synthesis*, 1998)

W trakcie pobytu specjalistów egipskich w Warszawie opracowano wspólny program badań. Proponowany zakres badań obejmuje m.in.:

□ Przetworzenie zdjęć satelitarnych Landsat (dostarczonych przez stronę egipską);

□ Cyfrową integrację danych — topograficznych, geologicznych i teledetekcyjnych;

□ Analizę fotogeologiczną danych teledetekcyjnych;

□ Przeprowadzenie wizji terenowej, pobranie próbek skał i wody do badań;

□ Analizę istniejących danych geofizycznych pod kątem możliwości ich wykorzystania do badań hydrogeologicznych i tektonicznych (w tym tektoniki współczesnej);

□ Analizę archiwalnych opracowań geofizycznych i materiałów kartograficznych w celu zaprojektowania prac geofizycznych: grawimetria, płytka wysokorozdzielcza sejsmika refleksyjna, płytka sejsmika refrakcyjna, geoelektryka;

□ Opracowanie planu dalszych badań geofizycznych.

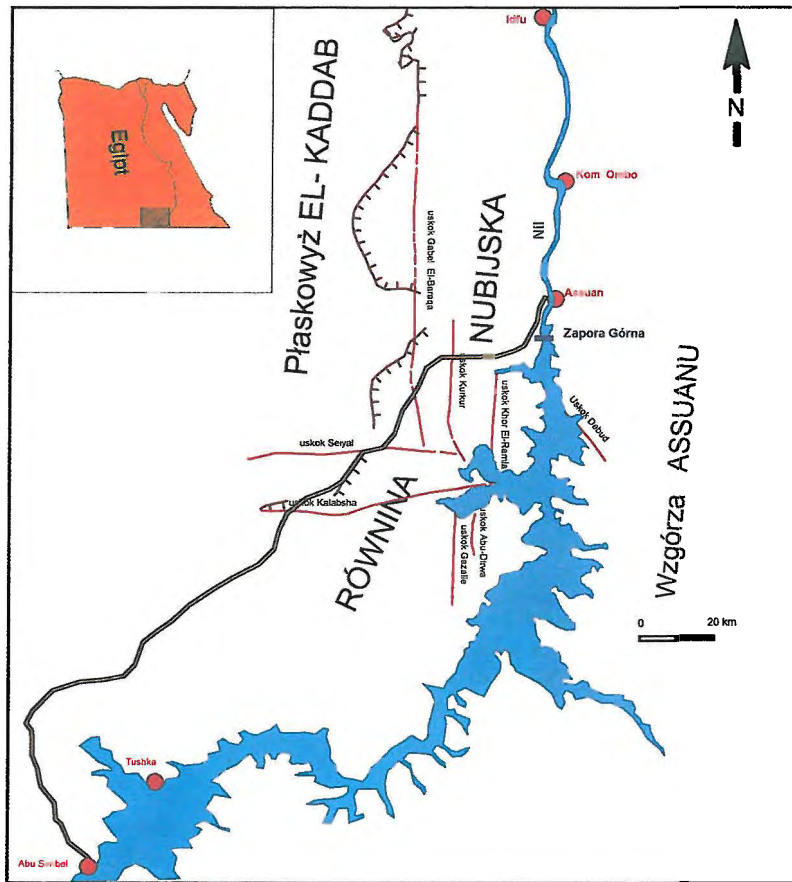
W artykule zawarto wstępne wyniki pierwszego etapu prac obejmujące opracowanie numerycznego modelu terenu (DTM) oraz analizę fotogeologiczną zdjęcia satelitarnego.

### Ogólna charakterystyka badanego obszaru

Południowo-zachodnia część Pustyni Zachodniej, w skład której wchodzi badany teren ma charakter skalno-żwirowego płaskowyżu, rozciągniętego głębokimi obniże-

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

\*\*Geology Department, Assiut University, Assiut 71516, Eg:pt



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań (obszar zaszaflowany)  
Fig. 1. Location of the investigated area

niami. Cały teren charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi wysokościami, sięgającymi od 150 do 350 m.n.p.m w pobliżu doliny Nilu. Na całym obszarze przeważa suchy klimat pustynny (Butzer, 1959), co ma swój wyraz w niezwykle rzadkiej sieci drenażowej okresowych cieków łączących się z doliną Nilu. Inną charakterystyczną cechą obszaru są długie i wąskie ciągi wydm o przebiegu zbliżonym do południkowego (Said, 1962). Znaczące obszary południowej części Pustyni Zachodniej są wystawione na działanie erozji, a skały podłoża są przykryte jedynie cienką warstwą piasków. Główne jednostki geologiczno-geomorfologiczne tworzą Wzgórze Assuanu.

**Wzgórze Assuanu.** Usytuowane wzdłuż wschodniego brzegu doliny Nilu i ciągnące się aż po miejscowość Assuan. Topografia wzgórz jest bardzo zróżnicowana. Występują tutaj wychodnie prekambryjskich skał podłoża. W ich otoczeniu występują klastyczne skały osadowe, m.in. piaskowce, piaskowce żelaziste i łupki. Wzgórze Assuanu tworzą strukturę w kształcie łuku o przebiegu północnym, skręcającym na NW. Na obszarze tym rozpoznano także lokalne fałdy i uskoki.

**Dolina Nilu.** Graniczy ona od wschodu z Wzgórzami Assuanu i rozdziela podłoże na Równinę Nubijską i kompleks skał prekambryjskich. Miąższość osadów w dolinie waha się od ok. 68 m w obrębie formacji nubijskiej do 106 m na obszarze występowania utworów prekambru.

**Równina Nubijska.** Równina obejmuje większość obszaru położonego na SW od Assuanu graniczącego z Jeziorem Nassera aż po granicę z Sudanem (Issawi, 1968). Rzeźba tego terenu jest mało zróżnicowana i zmienia się od 170 m w okolicach Playa Dungule (obszar najniższy położony) do ok. 200 m. Utwory bardziej odporne na erozję są widoczne

na powierzchni w postaci ostańców oraz wpływają na zróżnicowanie rzeźby. Należą do nich równoległe krawędzie utworzone przez piaskowce przewarstwione osadami ilastymi. Oprócz krawędzi zbudowanych z piaskowców w rejonie Gebel Marawa (274 m n.p.m.) występują także wzgórza zbudowane z wapieni, stanowiące pozostałość cofającej się skarpy Sinn El-Kaddab. W obrębie wschodniej granicy równiny zaznacza się wiele większych i mniejszych cieków okresowych (wadi) o przebiegu równoleżnikowym. Z reguły łączą się one z Doliną Nilu.

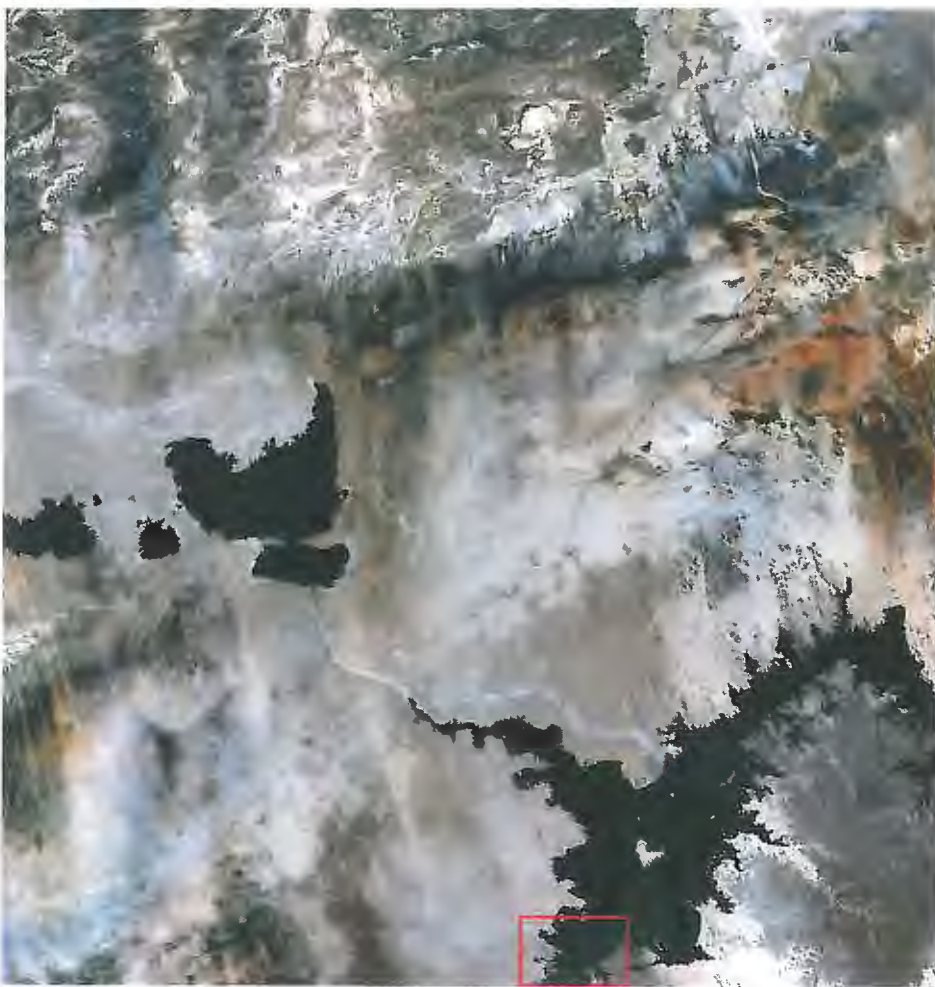
**Plaskowyż El-Kaddab.** Rozległy plaskowyż jest utworzony z wapieni, które rozciągają się na zachód od Równiny Nubijskiej. Wschodnią granicę plaskowca tworzy wspomniana powyżej skarpa Sinn El-Kaddab. Podstawę tej skarpy tworzą utwory formacji Dakhla, które są przykryte osadami formacji Kurkur i Garra (Issawi, 1968).

### Litologia i stratygrafia

Badania litologiczne i stratygraficzne wykonywało na badanym terenie wielu autorów, m.in. Said (1962), Issawi (1968, 1971), Klitzsch (1978) oraz Thabit (1994). Na ich podstawie wydzielono:

**Podłoże prekambryjskie.** Występuje na powierzchni na niewielkich obszarach wzdłuż zachodniego brzegu Jeziora Nassera. Skały te są reprezentowane przez gruboziarniste granity Assuanu wieku prekambryjskiego.

**Formacja Nubijska.** Osady formacji nubijskiej występują w południowym Egipcie na terenie równiny o tej samej nazwie. Według Issawi (1968) piaskowce nubijskie, które są najstarszymi osadami formacji leżą na powierzchni erozyjnej prekambryjskiego kompleksu granitowego. Powierzchnia granitów jest nierówna, stąd też miąższość



**Ryc. 2.** Zdjęcie satelitarne badanego obszaru zarejestrowane 30.08.1999, kompozycja TM 321 — najkorzystniejsza w warunkach klimatu pustynnego. W czerwonej ramce fragment kanału 8 — panchromatycznego, zaznaczonego w ryc.3.

**Fig. 2.** Satellite image of the investigated area, registered 30.08.1999, composition TM 321, the best for presentation of desert areas. Within the red frame, fragment of the 8th band — panchromatic, shown in Fig. 3

osadów formacji nubijskiej jest zmienna. Zaznacza się jednak ogólny wzrost miąższości osadów w kierunku północnym i NW. Na badanym terenie miąższość utworów formacji sięga 400 m.

Piaskowiec nubijski jest zbudowany z kwarcu pochodzącego ze skał magmowych, metamorficznych lub starszych piaskowców i składa się w 95% z czystego kwarcu. Spoiwami cementującymi jest natomiast: węglan wapnia, krzemionka, minerały ilaste i tlenki żelaza. Warstwy piaskowca leżą niemal poziomo, miejscami osiągając nachylenie 1–2° w kierunku północnym i północno-zachodnim. Lokalnie w pobliżu fałdów i uskoków rejestruje się znaczne zmiany nachylenia. Issawi (1978) określa wiek piaskowców nubijskich w granicach górna kreda-dolny trzeciorzęd. Na podstawie ostatnich badań Thabit (1994) wyróżnia w obrębie formacji nubijskiej sześć jednostek niższego rzędu.

**Czwartorzęd.** Osady czwartorzędowe są reprezentowane głównie przez piaski, pyły i żwiry (osady Nilu oraz rzek

okresowych) i piaski eoliczne. Na większości badanego terenu osady czwartorzędowe leżą bezpośrednio na utworach formacji nubijskiej (Issawi, 1968).

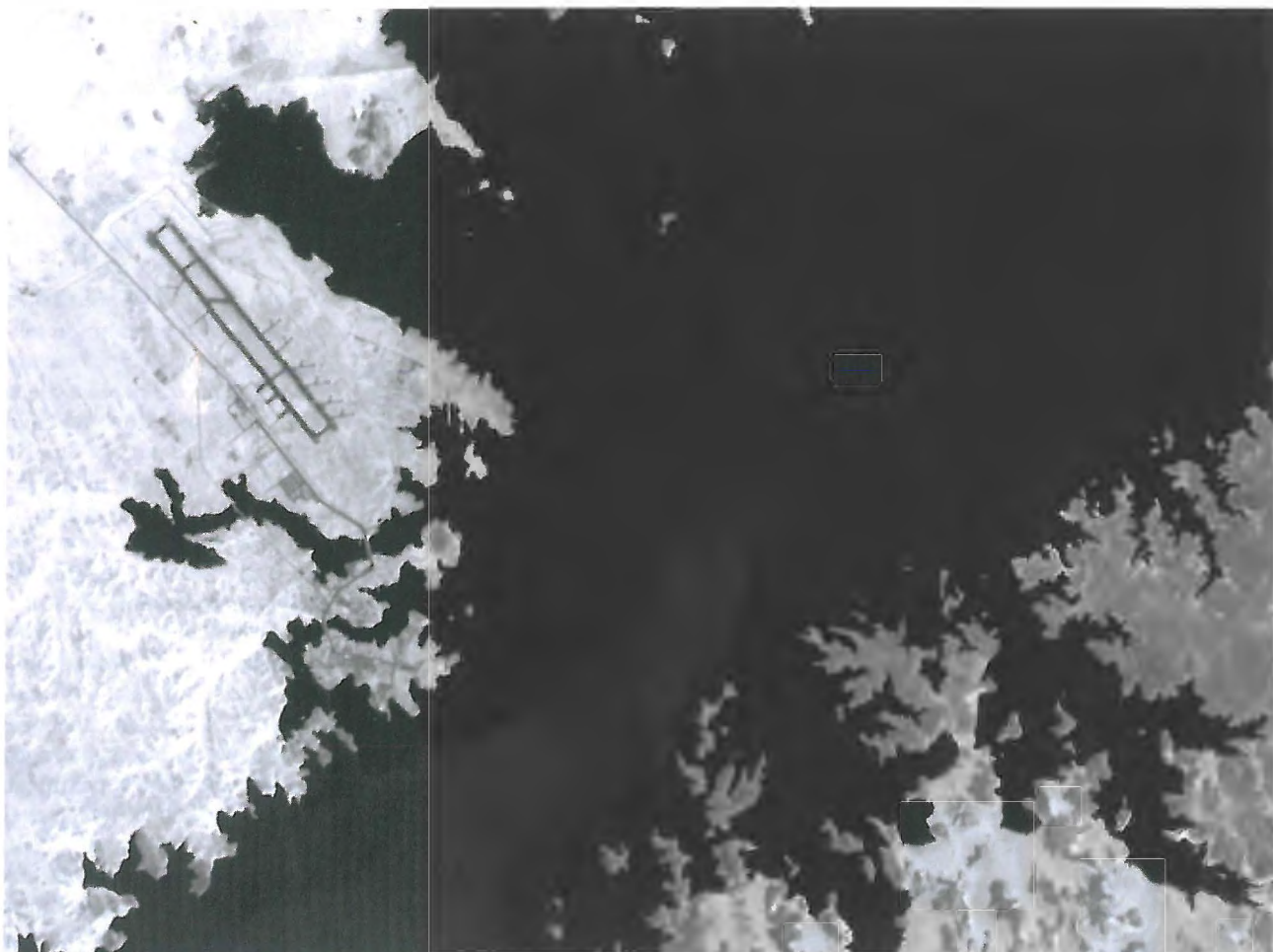
### Tektonika

Do 1960 r. stosunkowo niewiele było wiadomo o tektonice omawianego obszaru poza faktem, że przeważająca większość uskoków przebiegała w kierunku W–E. Na podstawie studiów podjętych przez Issawi (1968) wygięcie się i wypiętrzenie utworów podłoża miało zasadniczy wpływ na tworzenie się struktur tektonicznych — uskoków i fałdów w stosunkowo cienkiej warstwie osadów nadległych. Autor ten stwierdził występowanie dwóch głównych trendów uskoków o przebiegu W–E i N–S. Jako uskoki drugiego rzędu wymienił NW–SE i NE–SW. Kierunki równoleżnikowe, dominujące na omawianym terenie zostały zarejestrowane w Inehia na zachód od Gabel El-Saad, gdzie kierunek uskoków jest miejscami wykorzystywany i powielany przez wylewy lawy. Kierunki te zaznaczają się również wyraźnie w zachodniej części terenu, gdzie przecinają skarpe Sinn El-Kaddab oraz płaskowyż,

kontynuując się na obszarze Równiny Nubijskiej. Dwie największe strefy uskokowe o tym kierunku to Kalabsha i Seiyal. Pierwszy z wymienionych uskoków występujący na zachodnim brzegu Nilu, ma charakter przesuwczy — prawoskrętny. Towarzyszą mu liczne, niewielkie fałdy o charakterze kulisowym. Na podstawie analizy danych sejsmologicznych stwierdzono, że uskok ten był źródłem trzęsienia ziemi, które miało miejsce 14.11.1981 r.

Grupa uskoków o kierunku N–S została rozpoznana w rejonie Gabel Gazer Nasseb. Są to z reguły normalne uskoki grawitacyjne. Ich powierzchnie zapadają niemal pionowo. System uskoków o kierunku N–S dominuje na obszarze Równiny Nubijskiej. W skład tego systemu wchodzi uskoki: Gabel El-Baraqa, Kurkur, Khor El-Ramla, Gazalle i Abu-Dirwa. Uskoki o kierunku południowym są uznawane za najstarsze (Issawi, 1978). Na badanym terenie występuje również znaczna liczba uskoków przebiegających ukośnie do omawianych dwóch sys-





Ryc. 3. Zdjęcie panchromatyczne (kanał 8), z lewej strony Abu Simbel, lotnisko i przyległa infrastruktura  
Fig. 3. Panchromatic image (8th band) Abu Simbel, airport and accompanied infrastructure from the left side

temów głównych N–S i W–E. Większość z nich powstała najprawdopodobniej we wczesnym eocenie.

### Cyfrowy model terenu

W pierwszej fazie projektu opracowano numeryczny model terenu (DTM) na podstawie mapy topograficznej w skali 1 : 50 000 arkusz Abu Simbel, w projekcji Trawers Mercator, elipsoida odniesienia Helmerta 1906. Podstawowe cięcie warstwiczne wynosi 20 m. Dygitalizację warstwic wykonano przy użyciu oprogramowania ArcInfo, natomiast model numeryczny został wygenerowany za pomocą oprogramowania ER Mapper. Zastosowano metodę interpolacji tzw. „krigingu”.

### Zdjęcie satelitarne Landsat ETM+

Satelita Landsat ETM+ został wystrzelony 15.04.1999 r. Na jego pokładzie został umieszczony nowy system obrazujący *Enhanced Thematic Mapper Plus*. Projekt aparatury ETM+ zakładał polepszenie parametrów obrazujących satelity z jednej strony oraz kompatybilność danych z obrazami z poprzednich satelitów Landsat 4 i 5. Dlatego też została zachowana podobna orbita satelity — 705 km i sze-

rokość obrazowania — 185 km. Analogiczny jest również cykl powtarzalności zdjęć — 16 dni. Instrument ETM+ zezwala na zobrazowanie w ośmiu kanałach obejmujących zakres widzialny, oraz bliską, średnią i daleką („termalną”) podczerwień. Dwa kanały różnią się jednak od poprzedniego systemu TM. Jednym z nich jest nowy kanał panchromatyczny (.520–900 mikrometra) pozwalający na uzyskanie obrazów ze zdolnością rozdzielczą 15 m, a więc dwa razy dokładniej niż w systemie TM. Drugim kanałem o odmiennych parametrach jest podczerwień termalna — 6, który również posiada znacznie lepszą zdolność rozdzielczą — 60 m, w stosunku do 120 m w przypadku systemu TM.

Należy stwierdzić, że nowe parametry techniczne w znaczny sposób rozszerzają możliwości wykorzystania zdjęć satelitarnych Landsat, czyniąc go jednym z najbardziej uniwersalnych systemów teledetekcyjnych. Dotychczas w celu uzyskania wyższej rozdzielczości obiektów na powierzchni terenu integrowano zdjęcia Landsat TM (rozdzielczość 30–40 m.) z panchromatycznymi zdjęciami satelity SPOT (rozdzielczość 10 m.). W chwili obecnej wystarczy w tym celu materiał z jednego satelity. Wiąże się z tym w oczywisty sposób kwestia obniżenia kosztów pozyskania danych.

### Przetwarzanie zdjęcia satelitarnego i wstępna analiza fotogeologiczna

W przypadku przetwarzania zdjęcia satelitarnego Landsat ETM+ z rejonu Abu Simbel–Tushka zarejestrowanego 30.08.1999 r. zastosowano standardowe procedury obejmujące geokodowanie i wzmacnianie obrazu. Dokonano także integracji obrazu z DTM. Pewne problemy napotkano w trakcie geokodowania. Rzeczą niezwykle trudną okazało się zidentyfikowanie charakterystycznych wspólnych punktów na mapie w skali 1 : 50 000 oraz na zdjęciu. W znacznej mierze przyczyniły się do tego istotne zmiany linii brzegowej Jeziora Nasser widoczne na zdjęciu i praktycznie nieporównywalne z sytuacją przedstawioną na mapie która została sporządzona w 1991 r.

W trakcie wzmacniania jakości obrazu przetestowano wiele wariantów kompozycji różnych kanałów, m.in.: TM 542, TM 457, TM 345 i TM 321, jako „czwarty” kanał intensywności dodawano pasmo piąte, trzecie lub kanał ósmy panchromatyczny. Zdecydowanie najkorzystniejszą kombinacją w warunkach klimatu pustynnego okazał się

być wariant TM 321 (ryc. 2). Kompozycja ta przedstawia badany teren w kolorach zbliżonych do naturalnych (pasmo niebiesko-zielone, zielone i czerwone, a więc pełny zakres widma widzialnego). Na zdjęciu widać doskonale granice litologiczne, linie tektoniczne, ostańce erozyjne oraz utwory czwartorzędowe cieków okresowych. Można również rozróżnić piaskowce z domieszką tlenków żelaza, charakteryzujące się brązowym i brązowo-pomarańczowym fototonem. Dominującym elementem na całym zdjęciu (poza obszarami wodnymi) jest pasmowa liniowa tekstura o kierunku zbliżonym do południkowego. Została ona spowodowana przemieszczaniem się osadów eolicznych wzdłuż przeważającego kierunku wiatru. W niektórych przypadkach osady eoliczne powielają i podkreślają przebieg uskoku. Inna wyraźna granica widoczna na zdjęciu zarysowuje się pomiędzy Równiną Nubijską — zbudowaną głównie z piaskowców — oraz Płaskowyżem El-Kaddab utworzonym przede wszystkim przez osady wapieni. Odmienną charakterystykę fototonalną posiadają również piaskowce nubijskie — jasne fototony i piaskowce



Ryc. 4. Wyniki wstępnej fotointerpretacji na tle kompozycji TM 321. Kolorem żółtym zaznaczono granice cofającej się skarpy Sinn El-Kaddab, a czerwonym uskoki należące do dwóch systemów — równoleżnikowego i południkowego

Fig. 4. Results of the preliminary interpretation versus TM 321 composition. Retreating scarp Sinn El-Kaddab indicated in yellow, fault of two systems: meridional and parallel of latitude indicated in red





Ryc. 5. Kompozycja TM 542 + P, rejon Abu Simbel i przyległej pustyni  
Fig. 5. TM 542+P composition of the Abu Simbel region and adjacent areas

Assuanu położone na wschodnim brzegu doliny Nilu i Jeziora Nassera — ciemne fototony.

Dodanie kanału panchromatycznego gwarantowało oczywiście osiągnięcie znacznie większej rozdzielczej. Na ryc.3 widać fragment zdjęcia panchromatycznego, którego zasięg zaznaczono na ryc. 2. Przedstawia ono okolice Abu Simbel. Słynna świątynia jest położona na wysepce połączonej drogą z lądem. O dokładności zdjęcia mogą świadczyć dające się rozpoznać pojedyncze samoloty stacjonujące na pobliskim lotnisku. W prawym dolnym rogu zdjęcia widać także ciemnoszare piaskowce Assuanu, charakteryzujące się również bardzo zróżnicowaną rzeźbą. Rycina 4 przedstawia wstępną fotointerpretację strefy kontaktu Równiny Nubijskiej i Płaskowyżu El-Kaddab. Kolorem żółtym zaznaczono kolejne zasięgi cofającej się skarpy Sinn El-Kaddab. Widoczne są również równoleżnikowe uskoki wchodzące w skład systemów; Kalabsha i Seiyal. Nieco słabiej wyraźne są uskoki południkowe: Kurkur, Dirwa i Gazal. Kierunek tych ostatnich jest powielony przez struktury eoliczne. Niezwykle korzystne efekty daje również tworzenie kombinacji barwnych łącznie z kanałem panchromatycznym — TM 542 + P. Kompozycja taka przedstawiona na ryc. 5 ukazuje fragment Pustyni Nubijskiej położony na zachód od Abu Simbel. Uderzająca jest duża liczba szczegółów. Wyraźnie są rozpoznawalne granice litologiczne różnych utworów, w tym zastanawiające miejsca charakteryzujące się niebiesko-granatowym fototonem. Można również zidentyfikować linie tektoniczne, w tym dwie charakterystyczne strefy przecinające się w środku zdjęcia. Łatwo zauważalne są także ostańce erozyjne (fototon ciemnobrązowy) i pasmowy charakter osadów eolicznych.

Wstępna analiza fotogeologiczna zostanie zweryfikowana w trakcie wizji terenowej oraz w aspekcie materiałów archiwalnych i wyników badań geofizycznych.

#### Literatura

- BOULOS F.K., HENIN S.F. & EL-SAYED A.A. 1986-9 — Regional earthquakes in Egypt identified during recording aftershocks of 14 November 1981 Aswan Earthquake, *Ann. Geol. Surv. Egypt, Cairo*, 16: 275-280.
- BUTZER K. 1959 — Environment and human ecology in Egypt during Predynastic and early dynastic time. *Bull. Soc. Geograph., Egypt*, 23: 42-88.
- ISSAWI B. 1968 — The geology of Kurkur-Dungul area, *Egypt. Geol. Surv., Cairo*, 46: 102.
- ISSAWI B. 1971 — The geology of Darb El-Arbain, Western Desert, *Egypt. Ann. Geophys. Surv., Egypt*, 1: 53-59.
- ISSAWI B. 1978 — The geology of Nubia west area, Western Desert, *Egypt. Ann. Geol. Surv.*, 8: 237-253.
- JUX U. & ISSAWI B. 1983 — Cratonic sedimentation in Egypt during the Paleozoic. *Ann. Geol. Surv. Egypt, Cairo*, 13.
- KLITZSCH E. 1978 — Geologische Bearbeitung Südwest — Ägyptens, Programm and Ergebniss, *Geol. Rdsch.*, 67: 509-520.
- KLITZSCH E. Harms J.G., LEJAL-NICAL A. & LIST F. K. 1979 — Major Subdivision and Depositional Environments of Nubia Strata, *Southwestern Egypt. AAPG Bull.*, 63: 967-974.
- RIAD S., REFAI E. & SHAFEY S. 1978 — Gravity — tectonic trend analysis in Tushka area, south eastern corner of the Western Desert, *Egypt. Bull. Fac. Sci. Assiut Univ.*, 7: 319-334.
- RIAD S. & HOSNEY H. 1992 — Fault plane solution for the Gilf Kebir earthquake and the tectonics of the southern part of the Western desert of Egypt. *Ann. Geol. Surv. Egypt, Cairo*, 18: 239-248.
- SAID R. 1962 — The geology of Egypt, Amsterdam, New York, Elsevier, Pub. Co: 377.
- Synthesis 1998 — Aquifers of the major basins non renewable resources, Groundwater resources of the Nubian Aquifer System — OSS.
- THABIT G.K. 1994 — Sedimentology of the Nubia Group in the area southwest of Aswan (Abu-Simbil area). M.Sc. Thesis, Assiut Univ., 160.