

MAREK GRANICZNY

Państwowy Instytut Geologiczny

Warszawa

OFERTA EKSPORTOWA POLSKIEJ TELEDETEKCJI GEOLOGICZNEJ 1982–2000

ZARYS TREŚCI: Przedstawiono wyniki niektórych prac w zakresie teledetekcji geologicznej prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny w latach 1982–2000 na terenie Iraku, Mongolii, Demokratycznej Republiki Kongo, Egiptu i na Kubie. Dużą część opracowania stanowią rozważania autora związane z geologiczną analizą lineamentów widocznych na zdjęciach satelitarnych.

1. WPROWADZENIE

Pisząc o polskiej teledetekcji geologicznej oraz jej ofercie eksportowej, nie sposób nie wymienić nazwiska prof. dr hab. inż. Adama Linsenbartha. Fakt ten może wydawać się nieco zaskakujący, jako że pan Profesor jest znaną i liczącą się osobą w polskiej geodezji, a nie w geologii. Szukając potwierdzenia powyższego stwierdzenia, należy cofnąć się do połowy lat 70.

W roku 1974 najwyższe władze państwowe zdecydowały o włączeniu się przez Polskę do prac w zakresie wykorzystania metod teledetekcyjnych w gospodarce narodowej. W związku z tym rozpoczęto również merytoryczną dyskusję nad wykorzystaniem tych metod w geologii oraz dokonaniem niezbędnych przedsięwzięć organizacyjnych. Środowisko geodetów i kartografów reprezentowali wówczas: prof. dr hab. inż. Bogdan Ney, prof. dr hab. inż. Andrzej Ciołkosz, prof. dr hab. inż. Adam Linsenbarth, a geologów prof. dr hab. Józef Bażyński. Opinie uznanego grona specjalistów zostały zaakceptowane przez ówczesne władze zwierzchnie (Centralny Urząd Geodezji i Kartografii oraz Centralny Urząd Geologii) i tak doszło do powołania Ośrodka Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych w Instytucie Geodezji i Kartografii oraz Samodzielnej Pracowni Zdjęć Satelitarnych i Lotniczych w Państwowym Instytucie Geologicznym. Zgodnie z ówczesnymi założeniami całość spraw związanych z wdrożeniem metod teledetekcyjnych w gospodarce narodowej – leśnictwie, rolnictwie, planowaniu przestrzennym, ochronie środowiska itp. – miała spoczywać na OPOLiS, a zagadnienia związane z teledetekcją geologiczną na PiG. Między

nowo utworzonymi jednostkami organizacyjnymi zapoczątkowana została ścisła współpraca, która szybko zaowocowała wspólnymi projektami, publikacjami i wystąpieniami na konferencjach, początkowo krajowych, a później zagranicznych. Nieodzownym warunkiem dobrej współpracy zawodowej są dobre kontakty osobiste. Taką wspinałą atmosferę potrafił wówczas stworzyć prof. Linsenbarth. Było to szczególnie ważne dla młodych adeptów zawodu, do których się wtedy zaliczałem. W drugiej połowie lat 70. znalazły się również środki finansowe na zorganizowanie szkoleń zagranicznych. Było to w tym okresie konieczne, aby nawiązać bliższy kontakt z krajami posiadającymi własne systemy satelitarne i ośrodkami wiodącymi w dziedzinie przetwarzania danych cyfrowych, nowych technologii teledetekcyjnych itp. Do ośrodków takich zaliczał się ITC (International Training Centre) w Enschede (Holandia). W ośrodku tym, znanym z międzynarodowego szkolenia studentów w zakresie fotogrametrii, interpretacji zdjęć lotniczych oraz nauk o Ziemi, zorganizowano zimą 1978 roku pierwszy dwumiesięczny kurs dotyczący wykorzystania teledetekcji satelitarnej. Po przejściu stosownych testów w kraju zostałem skierowany na kurs z dwójką kolegów z OPOLiS: Teresą Baranowską i Jackiem Domańskim. Było to dla mnie ogromne przeżycie i wyróżnienie. Szczególnie zapamiętałem fakt, że osobą odprowadzającą nas na lotnisko Okęcie był prof. Linsenbarth. Pobyt w Holandii był rzetelną szkołą teledetekcji geologicznej. W skład grupy wykładowców wchodziła ówczesna elita teledetekcji europejskiej, profesorowie: C. Voute, S.A. Hempenius, D. Kovacs, B.N. Koopmans, H.E.C. van der Meer Mohr, A.M.J. Meijerink, A.S. Sesören i inni. Ostatni z wymienionych, z pochodzenia Turek, wart jest szerszej wzmianki. Pomimo licznych anegdot i żartów pod swoim adresem, opracował on mapę lineamentów (naturalnych cech liniowych zinterpretowanych na zdjęciach satelitarnych lub lotniczych, mogących odzwierciedlać pewne zjawiska w podłożu o charakterze tektonicznym) Holandii, która, jak wiadomo, cechuje się bardzo mało zróżnicowaną topografią, a ponadto niezliczoną liczbą sztucznych obiektów liniowych – dróg, kanałów itp. Wydawać by się mogło, że jest to ostatnie miejsce na świecie, gdzie powinno się wykonywać podobne analizy. A jednak wyniki badań profesora Sesörena okazały się szokujące dla większości dowcipnisiów. Model lineamentów dokładnie odzwierciedlał rozkład struktur geologicznych w podłożu, rozpoznanych na podstawie badań geofizycznych i wierceń. Kolejne lata to kolejne szkolenia, projekty i wspólne sympozja.

Na początku lat 80. zaistniała natomiast możliwość podzielenia się zdobytą wiedzą w zakresie teledetekcji z innymi, mniej doświadczonymi krajami. IGiK (za pośrednictwem central handlu zagranicznego) podjął wówczas rozmowy z przedstawicielami irackiego State Organization for Minerals (SOM). W rozmowach tych aktywnie uczestniczył prof. Linsenbarth. Z jego też inicjatywy do rozmów przyłączył się Państwowy Instytut Geologiczny. W efekcie doszło do podpisania kontraktu, w którym strona polska zobowiązała się do pomocy w organizacji ośrodka teledetekcji w SOM, jak również

opracowania map tektonicznej i geomorfologicznej Iraku w skali 1:1 000 000, na podstawie zdjęć satelitarnych. Kontrakt ten miał być realizowany przez Marka Granicznego (PIG) i Witolda Fedorowicza-Jackowskiego (IGiK). Takie były początki eksportu teledetekcji geologicznej w Polsce...

W niniejszym artykule zostaną pokrótce przedstawione wyniki wybranych prac prowadzonych przez PIG poza granicami kraju w latach 1982–2000, w tym w Iraku, Mongolii, Demokratycznej Republice Kongo, Egipcie i na Kubie.

2. IRAK

Głównym zadaniem kontraktu realizowanego w SOM było opracowanie mapy tektonicznej Iraku w skali 1:1 000 000 na podstawie analizy zdjęć satelitarnych Landsat MSS, archiwalnych materiałów geologicznych i wyników badań geofizycznych (grawimetria, magnetyka i sejsmika). Główna przeszkoda w realizacji projektu wiązała się z utrudnieniami zdobywania materiałów w terenie z powodu wojny z Iranem oraz wojny w Kurdystanie. Dlatego też analiza zdjęć satelitarnych była głównym źródłem informacji o strukturach geologicznych.

Irak (obejmujący powierzchnię ok. 450 000 km²) odznacza się bardzo charakterystyczną, regularną rzeźbą terenu, która odzwierciedla budowę geologiczną podłoża, co wpłynęło bardzo korzystnie na przebieg analizy fotogeologicznej. Na obszarze kraju występują trzy rodzaje form rzeźby: strukturalne, erozyjne i akumulacyjne. Formy strukturalne spotyka się przede wszystkim w górach Taurus i Zagros, w których obrębie wydzielono trzy główne jednostki strukturalne: geosynklinę, strefę intensywnych fałdowań i przedgórze. Formy erozyjne – tarasy, kaniony rzek, niecki deflacyjne, różne formy krasowe występują na terenie całego kraju, z wyjątkiem Mezopotamii. Formy akumulacyjne dominują na obszarze Mezopotamii (jednostka strukturalna – niestabilnego szelfu), są to głównie wydmy, tarasy akumulacyjne i stożki napływowe osiągające duże rozmiary. Około 2/3 ogólnej powierzchni kraju zajmują osady pustynne – Pustynia Zachodnia i Południowa (jednostka strukturalna stabilnego szelfu).

Do analizy fotogeologicznej wyselekcjonowano zdjęcia satelitarne Landsat MSS o możliwie najwyższej jakości, a więc bezchmurne i wykonane w optymalnych warunkach klimatycznych. Ogółem przejrano około 300 zdjęć. Jak wiadomo, do fotointerpretacji powierzchniowych elementów strukturalnych (uskoków, fałdów itp.) najbardziej przydatne są zdjęcia wykonane przy niskich kątach padania promieni słonecznych. W warunkach występujących w Iraku dotyczyło to zdjęć wykonanych w grudniu, styczniu i pierwszej połowie lutego.

Niektóre z wyznaczonych lineamentów i struktur owalnych (sugerujących aktywność magmatyczną) były widoczne jedynie na zdjęciach z zalegającą pokrywą śnieżną, na przykład północne regiony górskie Taurus i Zagros.

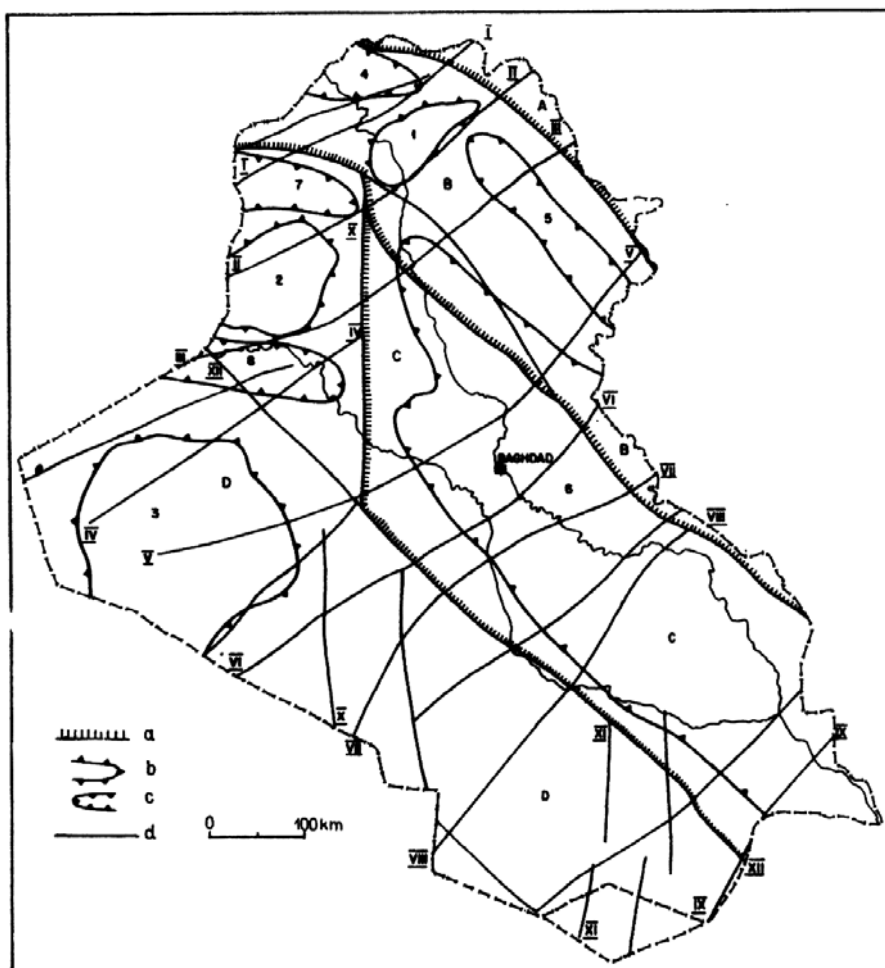
W trakcie fotointerpretacji stwierdzono obecność licznych lineamentów, które zidentyfikowano na podstawie następujących elementów rzeźby i pokrycia terenu:

- płytkich, prostoliniowych obniżen podkreślonych często roślinnością, w tym podmokłościami i niewielkimi jeziorkami;
- prostoliniowych odcinków koryt rzecznych i skarp erozyjnych, w tym wadi;
- wydłużonych krawędzi morfologicznych;
- wyraźnym, ostrym przesunięciom sieci drenażowej;
- charakterystycznej struktury drenażu, układów – prostokątnego, kratkowego, radialnego itp.;
- prostoliniowych wąwozów i jarów;
- liniśnie uszeregowanych, różnorodnych form krasowych.

Bardzo często lineamenty odpowiadające regionalnym strefom nieciągłości były widoczne na zdjęciach satelitarnych w postaci zespołu wymienionych form. W wielu przypadkach lineamenty były podkreślone przez zróżnicowania fototonalne, których nie można było przypisać konkretnym cechom terenowym. Pomimo zastosowania różnych technik cyfrowego polepszania jakości zdjęć uznano, że fotointerpretacja zdjęć powinna być wykonywana przez co najmniej dwóch fotogeologów w celu częściowego wyeliminowania subiektywnego spojrzenia interpretatora (Amiri H.M., 1979).

Fotointerpretacja struktur geologicznych przeprowadzona na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat MSS pozwoliła na potwierdzenie istnienia regionalnych stref uskokowych (m.in.: Mosul, Khlesia – Greater Zab, Anah – Little Zab, Horan, Ghadaf – Diyala, Ubaiyidh, Kerbala – Badra, Shabicha – Samawa – Kut, Basra, Tharthar – Machmi, Busaya) i na sugestię zmiany przebiegu innych oraz wskazała na dotychczas nieznane linie tektoniczne. Wielu z nowo rozpoznanych lineamentów nie zdefiniowano geologicznie z uwagi na brak możliwości przeprowadzenia rekonesansu terenowego oraz niedostatecznej ilości materiałów porównawczych – geologicznych i geofizycznych. Poza lineamentami, które najczęściej można było korelować z uskokami, na zdjęciach satelitarnych rozrózniono: wychodnie geologiczne, osie i elementy fałdów, fragmenty nasunięć, struktury owalne i pierścieniowe.

Lineamenty zinterpretowane na obszarze Iraku cechują się zróżnicowaną długością od kilkusetkilometrowych regionalnych linii do kilkukilometrowych odcinków. Przeważająca liczba lineamentów jest zorientowana w trzech głównych kierunkach NW – SE, NE – SW i ENE – WSW. Obecny jest również kierunek N – S, ale występuje on jedynie lokalnie. Główne trendy lineamentów nawiązują do zasadniczych kierunków strukturalnych Iraku, NW – SE – assyntyjsko-alpejskiego, NE – SW i ENE – WSW – palmyrydów oraz N – S – wschodnioafrykańskiego systemu ryftowego (Buday T. 1972, 1978; Ditmar V. 1971, 1972).



Legenda:

- a) główne jednostki strukturalne:
A – geosynklina, B – przedgórze i strefa intensywnych fałdowań,
C – niestabilny szelf;
- b) główne wypiętrzenia:
1 – Mosul, 2 – Hatra, 3 – Rutba;
- c) główne zapadliska:
4 – Pre-Taurus, 5 – Pre-Zagros, 6 – Mezopotamia, 7 – Sinjar, 8 – Anah;
- d) uskoki:
I – Mosul, II – Khlesia – G. Zab, IV – Horan, V – Ghadaf – Diyala,
VI – Ubaiyidh, VII – Kerbala – Badra, VIII – Shabicha-Samawa-Kut,
IX – Basra, X – Tharthar – Machmi, XI – Busaya, XII – Eufrat

Rys. 1. Główne elementy tektoniczne Iraku (wg T. Buday, 1978) zmodyfikowane przez autora artykułu

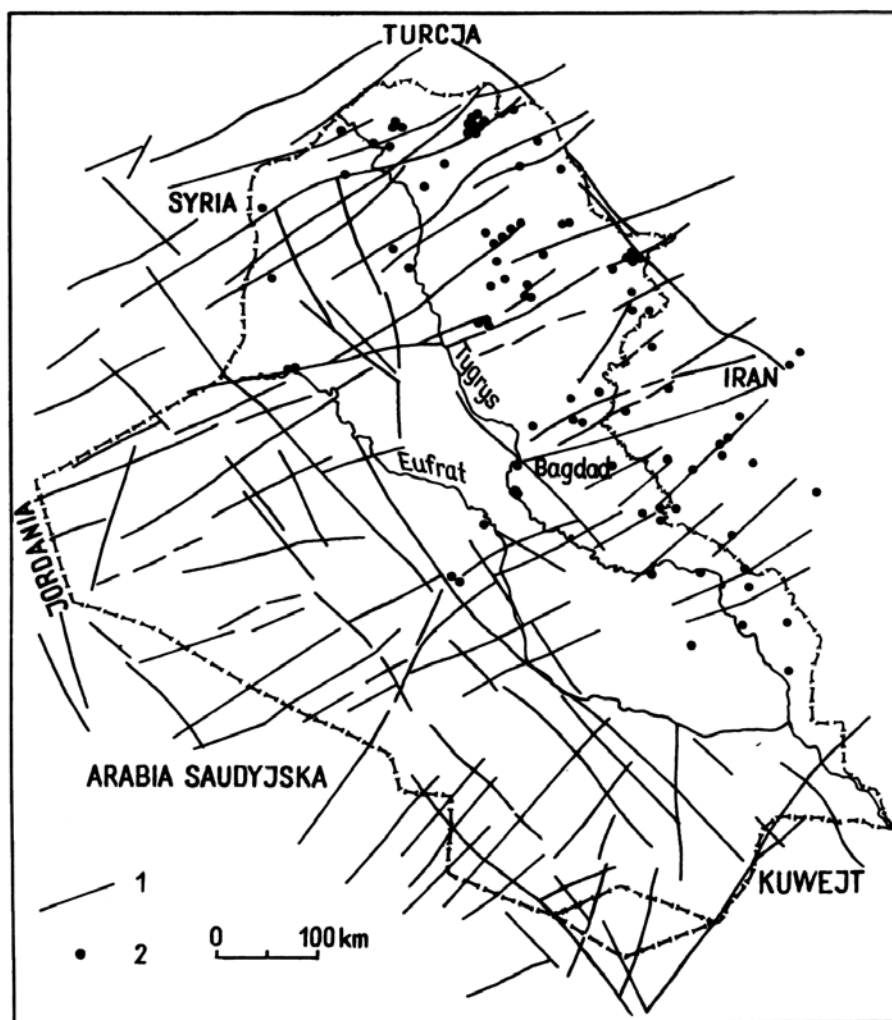
Lineamenty cechują się również znaczną regularnością. Na przeważającym obszarze lineamenty NW – SE i NE – SW są zorientowane w postaci sieci prostokątnej, rzadziej układają się pod kątem $50\text{--}60^\circ$ wynikającym z obliczeń teoretycznych kątów między komplementarnymi powierzchniami uskoku różnego typu. Zakładając, że lineamenty zinterpretowane na terytorium Iraku w dużej mierze oznaczają linie tektoniczne, to sieć prostokątna wskazuje na brak wyraźnie uprzywilejowanego kierunku w polu naprężeń. Występuje natomiast co najmniej dwukierunkowa sieć uskoku, która w najprostszym przypadku jest właśnie prostokątna i może zachować regularność na dużym obszarze (Jaroszewski W. 1980).

Lineamenty wyznaczone w obrębie poszczególnych jednostek strukturalnych cechują się pewną odmiennością. Jest to oczywiste, ponieważ czytelność lineamentów na zdjęciach jest funkcją lokalnej budowy geologicznej oraz sposobu użytkowania powierzchni. Na obszarach pustynnych – na przykład Rutba – Jazira, sieć lineamentów zaznacza się bardzo wyraźnie i z łatwością może być rozpoznana przez interpretatora zdjęć. W rejonie tym osady leżą poziomo lub prawie poziomo i przeważa tektonika blokowa (systemy uskoku i spękań). Potwierdzono tam występowanie najmłodszych ruchów tektonicznych, a pokrywa roślinna jest bardzo rzadka. Wyniki interpretacji strukturalnej zdjęć satelitarnych są na tym obszarze jednoznaczne, można nawet określić charakter poszczególnych elementów tektonicznych. Gdy z kolei weźmie się pod uwagę równinę Mezopotamii, gdzie mamy do czynienia z grubą pokrywą osadów piaszczystych, ilastych, żwirowych utworów deltowych, jeziornych i rzecznych, możliwości fotointerpretacji elementów tektonicznych podłoża są niewielkie. Dlatego też wyniki fotointerpretacji oraz jej zakres są na terenie Iraku zróżnicowane i w dużej mierze uzależnione od warunków lokalnych.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że wyniki łącznej analizy danych fotogeologicznych, geologicznych i geofizycznych pozwoliły na sporządzenie nowej mapy tektonicznej w skali 1:1 000 000 oraz uszczegółowiły przebieg granic głównych elementów strukturalnych i paleogeograficznych (rys. 1).

Interpretacja zdjęć satelitarnych przeprowadzona na terenie Iraku pozwoliła również na wykazanie interesujących związków pomiędzy wyznaczonymi lineamentami a sejsmicznością.

Cała północna granica platformy arabskiej zaznacza się niemal ciągłym pasem epicentrów trzęsień Ziemi, między innymi wzdłuż masywów górskich Zagros i Taurus oraz systemu uskoku Lewantu. Dużą częstotliwość występowania zjawisk sejsmicznych w wymienionych rejonach należy tłumaczyć ruchem platformy arabskiej w stosunku do kontynentu euroazjatyckiego i powstałym w wyniku tego procesu naprężeniami. Trzęsienia Ziemi towarzyszą regionalnym uskocom przesuwczym, takim jak system uskoku Lewantu czy uskoku anatolijskiemu. W rejonach tych trzęsienia Ziemi cechują się płytkimi ogniskami oraz występują w stosunkowo wąskim pasie wzdłuż linii tektonicznych (Nowroozi A.A. 1971).



1 – główne lineamenty, 2 – epicentra trzęsień Ziemi

Rys. 2. Mapa głównych lineamentów na tle epicentrów trzęsień Ziemi w Iraku i sąsiedztwie

W czasach historycznych na terytorium Iraku zarejestrowano ponad 150 wstrząsów. Trzeba przy tym podkreślić, że do 1974 roku nie prowadzono w Iraku systematycznych obserwacji i informacje dotyczące wstrząsów sejsmicznych pochodzą bądź z rejestracji prowadzonych na terenach sąsiednich (Turcja, Iran), bądź też z przekazów ustnych, nie zawsze wiarygodnych. Najważniejszą prawidłowością wynikającą z fotointerpretacji jest występowanie epicentrów wzdłuż niektórych regionalnych lineamentów o kierunku NE – SW (rys. 2). Między innymi wzdłuż strefy Kerbala – Badra – Kermanshah jest zlokalizowanych 10 epicentrów. Większą częstotliwość

występowania epicentrów trzęsień Ziemi można również zauważyć w miejscach przecięcia się lineamentów o kierunku NE – SW z głównym nasunięciem Zagrosu w rejonie Sulajmanija (5 epicentrów). Także na obszarze uznawanym dotychczas za asejsmiczny, w rejonie Kerbali, dwa zlokalizowane tutaj epicentra występują na przecięciu lineamentu Ubaiyidh o kierunku NE – SW i strefy uskokowej Eufratu. Dane te wskazują na znaczenie kierunku NE – SW (poprzecznego do głównego kierunku strukturalnego Zagrosu) dla występowania trzęsień Ziemi. Dotychczasowe badania prowadzone w Iraku metodami tradycyjnymi nie sygnalizowały takich liniowych uszeregowień trzęsień Ziemi.

3. MONGOLIA

Mapę fotointerpretacyjną południowo-wschodniej Mongolii w skali 1:500 000 wykonano w PIG na zlecenie Przedsiębiorstwa Handlu Zagranicznego „Geopol”. Mapa ta miała posłużyć jako element wstępnego zestawu materiałów, niezbędnych do wyznaczenia rejonów i stref perspektywicznych dla wystąpień złóż rudnych (ziemie rzadkie).

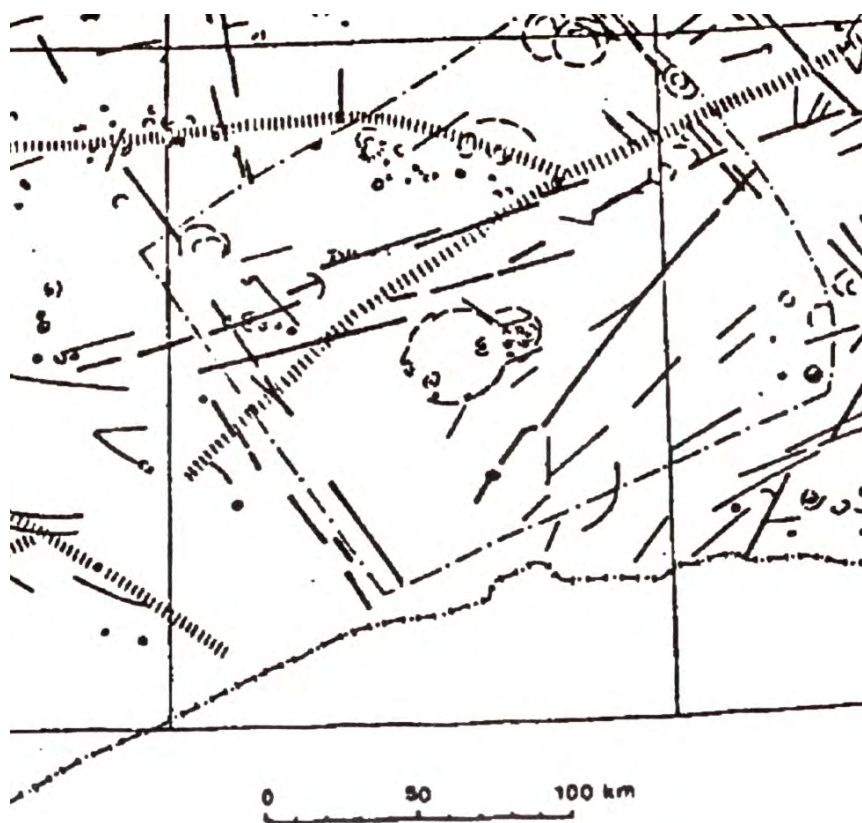
Obszar objęty fotointerpretacją zajmuje powierzchnię około 300 000 km² i jest zawarty pomiędzy 102° i 112° długości geograficznej E i 42° i 46° szerokości geograficznej N. W jego obręb wchodzi częściowo osiem jednostek strukturalnych: Totszań – Nukutdabad, Wschodniomongolska, Gobi – Tian-Szań, Ałtaju Gobijskiego, Kobdo – Bajanundur, Barin – Gurwanbogat, Kotliny Wielkich Jezior, Południowochangajska.

Podstawowy materiał wykorzystany w projekcie stanowiły zdjęcia satelitarne Landsat MSS z lat 1972–1974. W sumie analiza fotogeologiczna objęła 12 scen. Podstawowym kryterium wyboru scen był brak pokrywy chmur, jakość zdjęcia oraz niski kąt padania promieni słonecznych. Dlatego też wszystkie analizowane zdjęcia pochodzą z optymalnego dla rozpatrywanego obszaru okresu jesienno-zimowego, kiedy wartości kąta padania promieni słonecznych są niskie i wahają się w granicach 18–26°. Słaby rozwój szaty roślinnej w tym okresie jest kolejnym czynnikiem wzbogającym i ułatwiającym fotointerpretację.

W trakcie analizy fotogeologicznej główny nacisk został położony na dwa elementy: lineamenty oraz struktury owalne i pierścieniowe. Lineamenty należy traktować z dużą uwagą, szczególnie w przypadku prac poszukiwawczo-złożowych surowców związanych z tektoniką uskokową i spękaniem. Na zdjęciach satelitarnych omawianego obszaru można zidentyfikować wiele form owalnych i pierścieniowych, w większości kontrolowanych przez zjawiska geologiczne. Na etapie badań fotogeologicznych ich interpretacja, a zwłaszcza próby wyjaśnienia ich genezy są problemem złożonym ze względu na mnogość czynników wpływających na taki kształt formy powierzchniowej. Ze względu na pochodzenie geologiczne struktury owalne i pierścieniowe można podzielić

na endo- i egzogeniczne. Z punktu widzenia zadań projektu najbardziej istotne były struktury endogeniczne, w tym struktury wulkano-tektoniczne oraz intruzje magmowe typu centralnego. Zgodnie z ogólnie przyjętymi założeniami wokół wspomnianych struktur można spodziewać się mineralizacji kruszconośnej.

Opracowywany obszar obejmuje część hercyńskiej strefy geosynkinalno-fałdowej o złożonej budowie blokowej. Bloki te, o charakterze odrębnych regionów sedymentacyjno-tektonicznych, są rozdzielone rozłami wgłębnymi, mają wydłużone formy o rozciągłości NE – SW na północy i wschodzie i równoleżnikowej na południu (rys. 3).



Rys. 3. Fragment mapy fotointerpretacyjnej południowo-wschodniej Mongolii – główne strefy tektoniczne, lineamenty identyfikowane jako uskoki oraz struktury pierścieniowe i koliste

Rozkład struktur w obrębie poszczególnych bloków jest ogólnie zbliżony kierunkami do rozłamów ograniczających te bloki. Strefy geosynkinalne rozwijały się tutaj w górnym i środkowym paleozoiku, zarówno na utworach prekambryjskich, jak i na skomplikowanym podłożu

kaledońskim. W budowie hercynidów mają dziś udział utwory prekambriu oraz dolnego, środkowego i górnego paleozoiku (kompleks metamorficzny i metaefuzywny). Z cyklem hercyńskim wiążą się rozległe, wielofazowe intruzje o składzie kwaśnym. Mezozoik reprezentują utwory zapadlisk wewnętrznych. Trias reprezentowany jest przez utwory wulkaniczne i osady detrytyczne, jura – przez osady kontynentalne i jeziorne oraz wylewy i intruzje kwaśne, kreda – wypełnia depresje i drobne zapadliska i jest reprezentowana przez osady terrygeniczne, kontynentalno-jeziorne i fluwialne z udziałem efuzywnych skał kwaśnych i zasadowych oraz nielicznych intruzji kwaśnych. W kenozoiku dominuje sedimentacja kontynentalna, wylewy efuzywów – głównie pokrywy bazaltowe.



Rys. 4. Zdjęcie satelitarne Landsat (1475-03072), pasmo 7, wykonane 10 lutego 1973 roku, przedstawiające strukturę Chan Bogdo na obszarze jednostki Totszań – Nukutdabad

Ogółem w całym kraju przeważają intruzje kwaśne. Intruzje pośrednie i zasadowe są ilościowo podrzędne.

Interpretacja materiałów teledetekcyjnych potwierdza istnienie wspomnianych głównych stref blokowych (o orientacjach ENE – WSW, NW – SE oraz E – W). Strefy graniczne wielkich bloków strukturalno-facjalnych są na ogół dobrze wyrażone. Z materiałów teledetekcyjnych wynika jednak również, że granice niektórych bloków o charakterze regionalnym powinny ulec zmianom na drodze reinterpretacji. Teledetekcyjny obraz bloków jest zróżnicowany: cechuje je odmienny rozkład kierunków drobnych lineamentów wewnętrznych, wyrażających zmienności litologiczne i mniejsze uskoki oraz różny stopień zagęszczenia drobnych dyslokacji w obrębie bloków.

Stwierdzono również istnienie w obrębie różnych bloków licznych form owalnych i pierścieniowych o zróżnicowanych rozmiarach od poniżej 1 km do ponad 30 km średnicy (np. Chan-Bogdo) – rys. 4.

Liczne struktury owalne i ich skupienia występują wzdłuż niektórych głównych lineamentów i w miejscach ich przecięć. Dotyczy to zwłaszcza stref o kierunkach ENE – WSW i NW – SE. Znaczna część tych form przypada na obszary intruzji kwaśnych. Do wyjątków należą przypadki, w których struktury te pokrywają się z intruzjami lub wylewami o innym składzie (informacja na podstawie mapy geologicznej w skali 1:500 000). Wiele struktur przypada na obszar młodszej, mezokenozoicznej pokrywy osadowej. Struktury owalne i pierścieniowe mogą być więc, jak się zdaje, wskaźnikami intruzji, widocznych zarówno na powierzchni terenu, jak i zlokalizowanych w podłożu.

Przedstawiona powyżej w sposób skrótowy analiza geologiczna zezwoliła na optymalne zaplanowanie kolejności marszrut rekonesansu terenowego i pobrania próbek do analiz. Pomogła również wytypować dwa obszary, najbardziej obiecujące dla dalszych szczegółowych badań geologicznych.

4. DEMOKRATYCZNA REPUBLIKA KONGO

Analiza fotogeologiczna prowincji Shaba w Demokratycznej Republice Konga została przeprowadzona na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych SPOT, w wyniku porozumienia pomiędzy PIG a KGHM Lubin.

Obszar będący przedmiotem analizy teledetekcyjnej obejmuje koncesję poszukiwawczo-eksploacyjną GSM/SODIMIZA w południowej części prowincji Shaba. Stanowi on fragment środkowoafrykańskiego pasa miedzionośnego Copperbelt, położonego na terytorium Zambii i ciągnącego się w kierunku północnym, a następnie zmieniającego kierunek na zachodni i południowo-zachodni. Pas ten zalega w obrębie środkowo-afrykańskiego lufiliańskiego łuku fałdowego (*Lufilian fold arc*), powstałego w wyniku nasunięcia utworów proterozoicznych w kierunku północnym podczas

panafrykańskiej orogenezy. Długość tego pasa na terytorium Republiki Konga wynosi około 400 km, a obszaru objętego analizą około 80 km. Na terenie tym wyróżnia się wymienione niżej kompleksy skalne.

Masywy granitoidowe i skały metamorficzne krystalicznego podłoża przykryte są niezgodnie serią prekambryjskich skał osadowych, tworząc niekiedy wychodnie na wypiętrzeniach. Do takich masywów należą: granitowy masyw Louila, leżący prawie w centralnej części badanego obszaru, masywy Konkola i zlokalizowane wzdłuż granicy zambijsko-kongijskiej w zachodniej części analizowanego obszaru. Seria osadowa przykrywająca masywy granitowe i gnejsowe należy do najniższej części górnoproterozoicznego systemu Katangien. Utwory supergrupy Roanu reprezentują pierwszą fazę sedymentacyjnej sukcesji. Są one najważniejsze, gdyż stanowią główne siedlisko rud miedzi kobaltu i innych metali. Są to w spagu zlepieńce, przykryte początkowo płytkomorskimi, transgresywnymi osadami drobnoklastycznymi (pyłowcami, łupkami dolomitycznymi i stromatolitowymi dolomitami), a następnie węglanami typu platformowego i lagunowego (dolomity, pyłowce dolomityczne, łupki czarne i anhydryty). Roan przykryty jest utworami Kundelungu Dolnego (Ki) i Kundelungu Górnego (Ks), które są reprezentowane przez łupki dolomityczne, łupki piaszczyste, dolomity i wapienie, nie zawierające na ogół mineralizacji. Każde z powyższych wydzieliń Kundelungu zawiera w spagu zlepieńcowe, lodowcowe diamiktyty; dolne – Grand Conglomerat, górne – Petit Conglomerat.

Na omawianym obszarze znane są dwa złoża miedzi i kobaltu – Musoshi i Kinsenda – eksploatowane metodą głębinową oraz złożo rud tlenkowych Kimpe, którego eksploatację metodą odkrywkową rozpoczęto niedawno. Analizowane zdjęcia satelitarne przedstawiają sytuację sprzed rozpoczęcia wydobywania w Kimpe. Oprócz wymienionych złóż, w południowej części obszaru (poza kadrem zdjęcia) występuje rozpoznawane wierceniami głębinowe złożo Lubembe. Znane są też przejawy mineralizacji kruszczowej o charakterze podobnym do Kimpe. Należą do nich słabo rozpoznany rejon prospekcyjny Mwati na wschód od złoża Kimpe, przylegający od południa rejon Kombo, od zachodu – rejon Kapapa, a dalej M'baya. Jednym z zadań analizy teledetekcyjnej była ocena perspektywiczności tych obiektów dla przyszłych prac poszukiwawczych.

Obszar będący przedmiotem analizy teledetekcyjnej cechuje się stosunkowo dobrym zróżnicowaniem fototonalnym. Poszczególne fototony i struktura obrazu umożliwia wyróżnienie głównych rysów geologii obszaru.

W ogólnych zarysach można dać następującą charakterystykę fotogeologiczną analizowanego obszaru:

- masywy granitoidowe – jasnoszare fototon z nieregularnymi ciemnymi prześwitującymi plamami odzwierciedlającymi roślinność w różnym stopniu nasilenia wegetacji;

- formacja Roan – fototon ciemnoszary do czarnego z białymi nieregularnymi lub wydłużonymi plamami związanymi z wyschniętą roślinnością lub miejscami pozbawionymi pokrywy wegetacyjnej;
- formacja Kundelungu – na obszarze występowania górnego i dolnego piętra najczęściej fototon jasnoszary; obszary te przy dużym powiększeniu zdjęcia cechują się cętkowaną strukturą związaną z pokrywą wegetacyjną prawdopodobnie typu sawanny; partie zdjęcia odpowiadające formacji Kundelungu dolnego (Ki 11) jest trudniejsze do odróżnienia od utworów serii Roan i możliwe do prześledzenia tylko fragmentarycznie.

Jak wynika z opisu geologicznego, złoża CU-Co związane są z formacją Roan i występują najczęściej jako złoża stratyfikowane, jakkolwiek spotykane są również polimetaliczne złoża żyłowe CU-Co-U.

Złoża eksploatowane przez kopalnie podziemne (Musosji, Kinsenga) są trudniejsze w określeniu ich związków z przejawami na powierzchni, co mogłoby dać jakieś wskazówki interpretacyjne. Natomiast złoża typu Kimpe cechują się liniowym przebiegiem związanym z obecnością okruszczowanych wychodni i występowaniem związanych z tym tzw. stref zatrucia. Ponieważ w strefach tych występuje zdecydowane zubożenie pokrywy roślinnej, jest to bardzo istotna wskazówka interpretacyjna.

Analiza fotogeologiczna zdjęć satelitarnych rejonu Shaby dotyczy głównie tego aspektu występowania złóż i ich prospekcji.

Na mapach wykonanych w skalach 1:250 000 i 1:50 000, prezentujących wyniki interpretacji zdjęć, wyróżniono dwa rodzaje elementów liniowych:

- linie opowiadające granicom litologicznym i/lub warstwowaniu,
- linie związane z przypuszczalnym występowaniem nieciągłości tektonicznych (uskoków, spękań).

Najważniejsze wnioski wynikające z analizy fotogeologicznej można podsumować w następujący sposób:

- 1) Niemal na całym obszarze regionu Shaba występuje sieć rzeczna, która obfituje w załamania dolin rzek pod kątem prostym i prostopadłe kierunki dopływów względem rzek głównych. Zazwyczaj taka sieć prostokątna rozwija się na obszarze, na którym dominują dwa prostopadłe do siebie kierunki spękań lub uskoków. Dominują tutaj dwa kierunki NW – SE i NE – SW.
- 2) Kierunek NW – SE należy także wiązać z przebiegiem granic litologicznych i warstwowania, zaś kierunek NE – SW raczej tylko z tektoniką.
- 3) Bardzo charakterystycznym elementem fotointerpretacyjnym zdjęcia, wyznaczającym główne rysy budowy geologicznej analizowanego obszaru, jest jasnoszary fototon odpowiadający utworom formacji Kundelungu, wyznaczający przebieg struktur fałdowych. Przy czym należy podkreślić, że obraz interpretacyjny nie odpowiada dokładnie

przebiegowi i granicom form fałdowych znanych z mapy geologicznej w tej samej skali. Najwyraźniej widoczne są dwie struktury fałdowe znajdujące się na północno-zachodnim przedłużeniu masywu Luina.

- 4) Strefa mineralizacji wykartowana w trakcie zdjęcia geologicznego w terenie o przebiegu NE – SW jest dobrze widoczna na zdjęciu satelitarnym SPOT. W sposób wyraźny przedłuża się ona zarówno na odcinku północnym, jak i południowym (poza rzekę).
- 5) Na zdjęciu można również zidentyfikować wiele innych fotolineamentów o kierunku NW – SE równoległych do wykartowanej strefy mineralizacji. Stanowią one przede wszystkim obszar perspektywiczny dla badań terenowych i zdjęcia geochemicznego.
- 6) Punkty dokumentacyjne wyznaczone w terenie za pomocą lokalizatorów satelitarnych GPS bardzo dobrze korelują się z sytuacją na zdjęciach satelitarnych i były pomocne jako punkty nawiązania w trakcie fotointerpretacji.

5. EGIPT

Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie przystąpił w 1999 roku 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.

Jednym z priorytetowych projektów realizowanych aktualnie 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 Namera. 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 geośrodowiskowych 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 zakresie: geomorfologii, geologii, klimatologii, hydrogeologii, geofizyki i geologii historycznej (Boulos F.K. i in. 1986–1989; Jux U., Issawi B. 1983; Klitzsch E. 1979; Riad S. i in. 1978, Riad S., Hosney H. 1992; Synthesis 1998).

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

- 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.

Południowo-zachodnia część Pustyni Zachodniej, w której skład wchodzi badany teren, posiada charakter skalno-żwirowego płaskowyżu rozciętego głębokimi obniżeniami. Cały teren cechuje się stosunkowo niewielkimi wysokościami, sięgającymi od 150 do 350 m. n.p.m. w pobliżu doliny Nilu. Przeważa na nim suchy klimat pustynny (Butzer S.K. 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 wydym o przebiegu zbliżonym do południkowego (Said R. 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:

- Wzgórza Asuanu, usytuowane wzdłuż wschodniego brzegu doliny Nilu i ciągnące się aż po miejscowość Asuan. Topografia wzgórz jest bardzo zróżnicowana. Występują tutaj wychodnie prekambryjskich skał podłoża. W ich otoczeniu występują klastyczne skały osadowe, między innymi piaskowce, piaskowce żelaziste i łupki. Wzgórza Asuanu 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 Asuanu i rozdziela podłoże na Równinę Nubijską i kompleks skał prekambryjskich. Miąższość osadów w dolinie waha się od około 68 m w obrębie formacji nubijskiej do 106 m na obszarze występowania utworów prekambru.
- Równina Nubijska – obejmuje większość obszaru położonego na SW od Asuanu graniczącego z Jeziorem Namera aż po granicę z Sudanem

(Issawi B. 1968). Rzeźba tego terenu jest mało zróżnicowana i zmienia się od 170 m w okolicach playa Dungule (obszar najniżej położony) do około 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.

- Płaskowyż El-Kaddab – rozległa jednostka utworzona z wapieni, które rozciągają się na zachód od Równiny Nubijskiej. Wschodnią granicę płaskowyżu tworzy wspomniana powyżej skarpa Sinn El-Kaddab. Podstawę tej skarpy tworzą utwory formacji Dakhla, które są przykryte osadami formacji Kurkur i Garra (Issawi B. 1968).

Badania litologiczne i stratygraficzne wykonywało na badanym terenie wielu autorów, między innymi Said R. (1962), Issawi B. (1968, 1971), Klitzsch E. (1978) oraz Thabit G.K. (1994). Na ich podstawie wydzielono: podłoże prekambryjskie, formację nubijską (składającą się z sześciu jednostek niższego rzędu) oraz osady czwartorzędowe.

Do 1960 roku 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 B. (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 Seiya. 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 listopada 1981 roku.

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

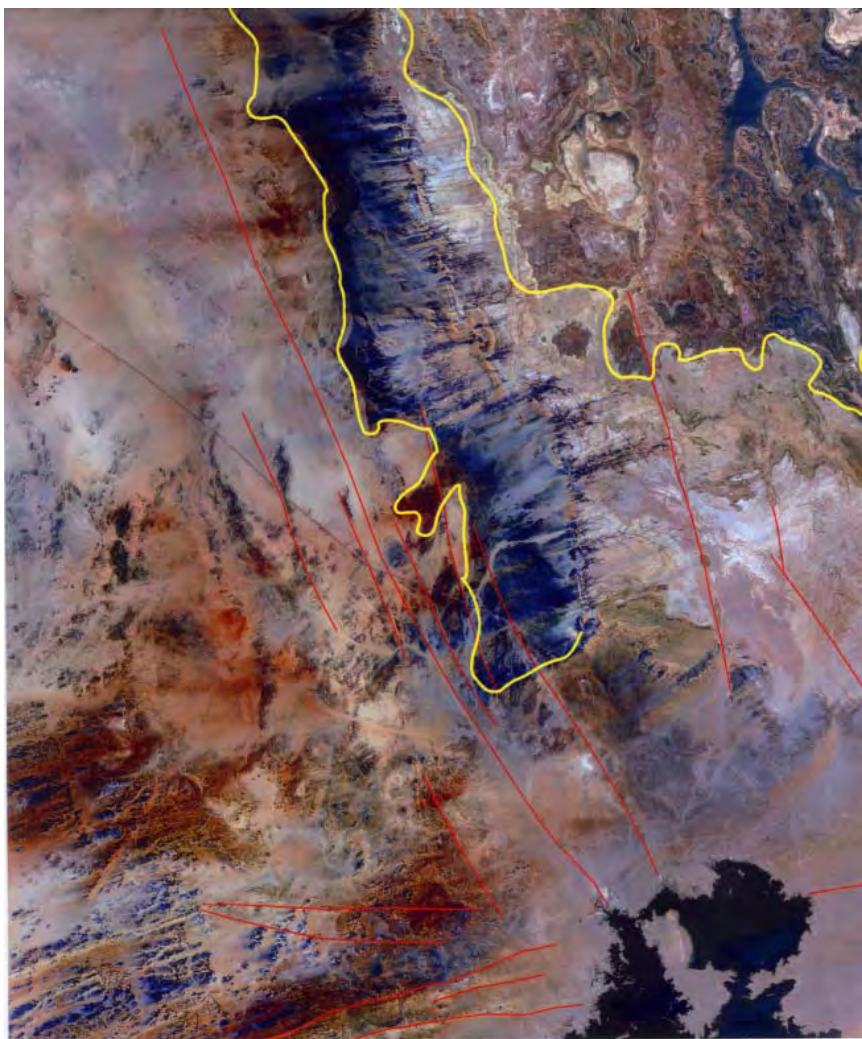
N – S dominuje na obszarze Równiny Nubijskiej. W skład tego systemu wchodzi uskoki: Gabel El-Baraqa, Kurkur, Khor El-Ramla, Gazalle i Abu Dirwa. Uskoki o kierunku południkowym są uznawane za najstarsze (Issawi B. 1978). Na badanym terenie występuje również znaczna liczba uskoków przebiegających ukośnie do omawianych dwóch systemów głównych N – S i W – E. Większość z nich powstała najprawdopodobniej we wczesnym eocenie.

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 warstwicowe wynosi 20 m. Dygitalizację warstwic wykonano przy użyciu oprogramowania ArcInfo, natomiast model numeryczny został wygenerowany z wykorzystaniem oprogramowania ER Mapper. Zastosowano metodę interpolacji krigingu.

W przypadku przetwarzania zdjęcia satelitanego Landsat ETM+ z rejonu Abu Simbel – Tushka zarejestrowanego 30 sierpnia 1999 roku 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 Namera widoczne na zdjęciu i praktycznie nieporównywalne z sytuacją przedstawioną na mapie, która została sporządzona w 1991 roku.

W trakcie wzmacniania jakości obrazu przetestowano wiele wariantów kompozycji różnych kanałów, między innymi 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 (rys. 5). 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 uskoków. 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. Odminną charakterystykę fototonalną posiadają

również piaskowce nubijskie – jasne fototony i piaskowce Asuanu położone na wschodnim brzegu doliny Nilu i Jeziora Namera – ciemne fototony.



Rys. 5. 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

Dodanie kanału panchromatycznego gwarantowało oczywiście osiągnięcie znacznie większej zdolności rozdzielczej, co miało w wielu wypadkach niezwykle istotne znaczenie dla rozpoznawania niektórych granic geologicznych. Wstępna analiza fotogeologiczna zostanie zweryfikowana w trakcie wizji terenowej oraz w aspekcie materiałów archiwalnych i wyników badań geofizycznych.

6. KUBA

W marcu 1998 roku na zaproszenie dyrektora Instytutu Geologii i Paleontologii w Hawanie – J. Hernandeza Fernandeza przebywali na Kubie S. Speczik i M. Graniczny. Przedmiotem rozmów było nawiązanie współpracy pomiędzy Instytutem Geologii i Paleontologii a Państwowym Instytutem Geologicznym. Jako główne tematy współpracy wymieniono zastosowanie zdjęć satelitarnych w kartografii i prospekcji złożowej, wykorzystanie nowoczesnych technik kartograficznych (GIS, GPS) przy opracowywaniu map geologicznych oraz wymianę doświadczeń w zakresie badań złożowych – siarczki.

6.1. Zarys budowy geologicznej

Wysunięta najdalej na wschód część Kuby, należąca do prowincji Oriente, a będąca przedmiotem niniejszego artykułu, zbudowana jest ze skał w dużej mierze 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 zmetamorfizowanego kompleksu skał wulkanogeniczno-osadowych budujących centralną i zachodnią część masywu górskiego Sierra del Purial. Masyw ten od północy kontaktuje z zserpentyzowanymi ultrabazytami oraz melanżem serpentynitowym. Cały ten złożony zespół skalny od północy, wschodu i południa graniczy z młodymi osadami pokrywy trzeciorzędowo-czwartorzędowej.

Zarówno budowa wewnętrzna jednostek budujących masyw Sierra del Purial, jak i ich wzajemne relacje nie są w dostatecznym stopniu poznane. Najbardziej wschodnia część masywu zbudowana jest ze zmetamorfizowanych skał węglanowych wchodzących w skład formacji Chafarina. Są to silnie sfałdowane ciemno- lub jasnoszare marmury zawierające smugi grafitu lub łyszczyków oraz ślady bituminów. Lokalnie występują wkładki metasilisitów i łupków węglanowych. Wiek tych utworów, określony na podstawie źle zachowanych otwornic, jest górnokredowy. Na zachodzie formacja Chafarina kontaktuje z ciemnoszarymi lub czarnymi grafitowymi fyllitami formacji Sierra Verde, których wiek, określony na podstawie ubogiej mikrofauny, jest tytońsko-dolnokredowy. Miąższość formacji szacowana jest na 300 m. Najsilniej zmetamorfizowana i litologicznie najbardziej złożona jest formacja Güira de Jauco kontaktująca południkowo z leżącą na wschód od niej formacją Sierra Verde. Jest ona zbudowana przede wszystkim z amfibolitów lub łupków amfibolitowych z wkładkami metasilisitów i plagiognejsów. Seria ta przeciętna jest żyłami pegmatytowymi i drobnymi ciałami intruzywnymi o składzie diorytów oraz licznymi płaskurami serpentynitowymi. Wiek formacji oznaczony metodą K-Ar waha się w przedziale 72–75 milionów lat, co odpowiada granicy kampan – mastrycht.

W kierunku zachodnim formacja Güira de Jauco poprzez strefę zserpentyzowanych ultrabazytów, diabazów i gabr przechodzi w górnokredową sekwencję skał osadowo-piroklastycznych Baracoa kompleksu Purial, stanowiącego trzon masywu Sierra del Purial (Millan G., Somin M.L., 1985).

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

Od północy masyw Sierra del Purial kontaktuje z kompleksem Mayari – Baracoa zbudowanym z zserpentyzowanych skał ultrazasadowych. Pozycja tektoniczna tych skał nie jest w pełni wyjaśniona. Niektórzy autorzy (Khudoley C.M., Meyerhoff A. 1971; Shein V. et al. 1985) sądzą, że są to skały autochtoniczne, na które nasunięty jest masyw Sierra del Purial, inni natomiast (Knipper A.L., Cabrera R. 1974; Iturralde-Vinent M.A. 1981, 1996; Puszczarowski Yu. 1988; Puszczarowski Yu. et al. 1989) skłaniają się ku pogładowi o allochtoniczności kompleksu ultrazasadowego. Według tych ostatnich ponad 1000-metrowej miąższości zserpentyzowane 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 kompleksu 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 górnoeoceński fliszoidalny zespół skał wchodzący w skład formacji San Luis.

6.2. Interpretacja zdjęć satelitarnych i rekonesans terenowy

Z terenu wschodniej Kuby pozyskano zdjęcie satelitarne Landsat TM zarejestrowane 15 stycznia 1985 roku oraz dwa zdjęcia SPOT w wersji panchromatycznej zarejestrowane 28 grudnia 1994 roku. Celowo zamówiono zdjęcia z okresu „zimowego”, aby zminimalizować nieco wpływ pokrywy roślinnej. Zamawiając wymienione zdjęcia, zapewniono wysoką rozdzielczość spektralną – 7 kanałów Landsata TM w zakresie widzialnym oraz bliskiej i średniej podczerwieni oraz wysoką zdolność rozdzielczą na powierzchni terenu – 10 m w przypadku zdjęć SPOT P.

Do przetwarzania zdjęć wykorzystano oprogramowanie ER Mapper.

Na pierwszym etapie przetwarzania przystąpiono do geokodowania zdjęć, wykorzystując w tym celu mapy topograficzne Kuby. Po wykonaniu tej operacji przystąpiono do procedury wzmocniania obrazu, którego celem jest polepszenie czytelności zdjęcia przez zwiększenie kontrastu pomiędzy odwzorowanymi na nim obiektami. W wyniku analizy histogramów poszczególnych 6 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 biomasę. Dane obrazowe zawarte na poszczególnych kanałach wyrażone są w stopniach szarości. Dlatego też z reguły obrazy satelitarne generowane są 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: Mapę Geologiczną Kuby w skali 1:250 000 (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), teledetekcyjno-geofizycznych w wyniku zestawienia treści zdjęcia z danymi magnetycznymi (dane magnetyczne jako komponent trzeciego wymiaru) i innych.

Pięciodniowy rekonesans terenowy został przeprowadzony w marcu 1999 roku na obszarze objętym zdjęciem satelitarnym Landsat TM wzdłuż trasy: Guantanamo – San Antonio del Sur – Imias – Rio Yumuri – Baracoa – Moa (rys. 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),
- utworów formacji Maquey (oligocen górny – miocen dolny),
- skał formacji San Luis (eocen środkowy – eocen górny),
- plioceńsko-plejstocieńskiej formacji Río Maya,
- formacji Cobre wywodzącej się z wulkanicznego łuku wysp (paleogen),
- formacji Sierra del Purial (apt? – kampan),
- formacji Cabacú (oligocen górny – miocen dolny),
- neogeńskiej formacji Cabo Cruz (miocen środkowy – miocen górny),
- plejstocieńskich tarasów,

- serpentynitów (północnych) wchodzących w skład potężnego masywu ofiolitowego Moa – Baracoa i nasuniętych z południa na masyw Sierra del Purial oraz serpentynitów (południowych),
- pokryw laterytowych.



Rys. 6. Kompozycja TM 457 wschodniej Kuby z zaznaczoną trasą rekonesansu terenowego przeprowadzonego w marcu 1999 roku

Na zdjęciach satelitarnych obszary występowania serpentynitów cechują się ciemnoniebieskim fototonem z uwagi na stres wegetacji, między innymi 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. W trakcie uprzedniego kartowania geologicznego nie zostały one wyróżnione. Największa anomalia rozpoznana na zdjęciu nie została zweryfikowana z uwagi na niedostępność terenu i brak dróg dojazdowych. Geolodzy kubańscy przeprowadzą odpowiednie badania w późniejszym terminie.

W sumie udokumentowano 15 stanowisk. W trzech miejscach pobrano próbki do analizy.

7. PODSUMOWANIE

Oceniając wyniki analizy fotogeologicznej z metodycznego punktu widzenia 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.

P. Chavez (1984), rozpatrując możliwe warianty konfiguracji kanałów – w przypadku Landsat TM – 20, obliczył współczynnik OIF (Optimum Index Factor) charakteryzujący informacyjność poszczególnych kompozycji. Najwyższym współczynnikiem cechują się kompozycje: TM 457 (21.43), TM 345 (19.99) oraz TM 145 (19.69). Żadna z tych trzech pierwszych kompozycji 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 szóstego, który dokonuje rejestracji promieniowania cieplnego emitowanego z powierzchni Ziemi w dalekiej podczerwieni.

Uzyskane uwagi metodyczne są niezwykle istotne w aspekcie 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 przede wszystkim wymienić:

- weryfikację istniejących granic geologicznych,
- zaproponowanie przebiegu skorygowanych granic geologicznych,

- potwierdzenie ogólnego planu strukturalnego oraz zaproponowanie przebiegu nowych struktur tektonicznych (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.

Przewiduje się kontynuację badań zachodniej części masywu Sierra del Purial oraz ofiolitowej strefy Mayari – Baracoa, przykrytej pokrywą laterytową o dużej miąższości. Pokrywa ta ma duże znaczenie złożowe (kobalt, nikiel). Na kolejnym etapie przeprowadzona zostanie analiza fotogeologiczna sąsiedniego zdjęcia satelitarnego Landsat TM (od strony zachodniej) pokrywającego wraz z pierwszym zdjęciem całość kompleksu Mayari – Baracoa, zbudowanego z zserpentynizowanych 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.

8. LITERATURA

- [1] Amiri H.M., 1979, *Structural lineament map of Iraq – based on landsat interpretation*. Biblioteka SOM, Bagdad.
- [2] Boulos F.K., Henin S.F., El – Sayed A.A., 1986–1989, *Regional earthquakes in Egypt identified during recording aftershocks of 14 November 1981 Aswan Earthquake*. Annals of the Geological Survey of Egypt, Vol. XVI, Cairo: 275–280.
- [3] Buday T., 1972, *Exploratory notes to the structural map of Iraq*. Biblioteka SOM, Bagdad.
- [4] Buday T., 1978, *Structural Sketch Map of the Middle East*. Biblioteka SOM, Bagdad.
- [5] Butzer S.K., 1959, *Environment and human ecology in Egypt during Predynastic and early dynastic time*. Bull.Soc.Geograph., Egypt, 23:42–88.
- [6] 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.

- [7] Ditmar V., 1971, *Geological conditions and hydrocarbon prospects of the Republic of Iraq (Northern and Central parts)*. Technoexport Report, biblioteca INOC, Bagdad.
- [8] Ditmar V., 1972, *Geological conditions and hydrocarbon prospects of the Republic of Iraq (Southern part)*, Technoexport Report, biblioteca INOC, Bagdad.
- [9] Issawi B., 1968, *The geology of Kurkur-Dungul area*. Egypt, Geol. Surv., Cairo, (46):102.
- [10] Issawi B., 1971, *The geology of Darb El-Arbain*. Western Desert, Egypt. Ann. Geophys. Surv., Egypt, I: 53–59.
- [11] Issawi B., 1978, *The geology of Nubia west area*. Western Desert, Egypt. Ann. Geol. Surv., Egypt, (8): 237–253.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Jaroszewski W., 1980, *Tektonika uskoków i fałdów*. Wyd. Geol. Warszawa.
- [15] Jux U., Issawi B., 1983, *Cratonic sedimentation in Egypt during the Paleozoic*. Annals of the Geological Survey of Egypt, Vol. XIII, Cairo.
- [16] Klitzsch E., 1978, *Geologische Bearbeitung Südwest – Ägyptens*. Programm and Ergebniss, Geol. Rdsch., 67(2): 509–520.
- [17] Klitzsch A.O., 1979, *Major Subdivision and Depositional Environments of Nubia Strata*. Southwestern Egypt, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.63, nr 6 (June): 967–974.
- [18] Khudoley C.M., Meyerhoff A., 1971, *Paleogeography and geological history of Greater Antiles*. Geol. Soc. America. Mem. 129: 1–199.
- [19] Knipper A.L., Cabrera R., 1974, *Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y eugeosinclinal del cinturón hiperbasítico de Cuba*. En: Contr. Geol. Cuba, Acad. Cienc. Pub. Espec. (2): 15–77.
- [20] Millan G., Somin M.L., 1985, *Contribucion al conocimiento geologico de las metamorfitas del Escambray y del Purial*. Reporte de Investigacion del Instituto de Geologia y Paleontologia no. 2, Academia de Ciencias de Cuba.
- [21] Nowroozi A.A., 1971, *Seismo-tectonics of the Persian Plateau, Eastern Turkey, Caucasus and Hindu-Kush Region*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 61, no 2: 1–156.
- [22] Puszczarowski Yu., 1988, *Mapa geológico de la República de Cuba escala 1:250 000 (42 sheets)*. Academy of Sciences of Cuba and USSR.

- [23] Puszczarowski Yu., Mossakovsky G., Nekrasov S., Sokolov M., Iturralde-Vinent et al., 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 p.
- [24] 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
- [25] 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*. Annals of the Geological Survey of Egypt, Vol. XVIII, Cairo: 239–248
- [26] Said R., 1962, *The geology of Egypt*, Amsterdam, New York, Elsevier, Pub. Co: 377.
- [27] Shein V., Maximov S., Yparraguirre J., 1985, *Nota explicativa al Mapa Tectónico de Cuba, a escala 1: 500 000*. MINBAS. La Habana.
- [28] Synthesis, 1998, *Aquifers of the major basins non renewable resources*, Groundwater resources of the Nubian Aquifer System – OSS.
- [29] Thabit G.K., 1994, *Sedimentology of the Nubia Group in the area southwest of Aswan (Abu-Simbil area)*. M. Sc. Thesis, Assiut Univ.;160.

MAREK GRANICZNY
Geological Institute
Warsaw

EXPORT OFFER OF POLISH GEOLOGICAL REMOTE SENSING

S u m m a r y

Author presented results of the selected works on geological remote sensing, conducted by the State Geological Institute in Iraq, Mongolia, Democratic Republic of Congo, Egypt and Cuba in the period 1982–2000. Major part of article is devoted to the discussion concerning geological analysis of lineaments visible on satellite images.

Translation: Zbigniew Bochenek