

Magdalena MAIN

Instytut Geologii Stosowanej, Politechnika Śląska, Gliwice  
Humboldt Universität zu Berlin, Niemcy

## WYKORZYSTANIE TELEDETEKCJI W GEOLOGII ŚRODOWISKOWEJ

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia sposoby wykorzystania zdjęć satelitarnych w geologii środowiskowej. Analiza teledetekcyjna obrazu opiera się na przetwarzaniu zdjęć i wzmacnianiu jakości obrazu oraz na klasyfikacji danych na podstawie odbicia spektralnego. Na trzech przykładach z zakresu mineralogii, monitoringu składowisk odpadów przemysłowych oraz monitoringu zbiorników wodnych pokazano zastosowanie danych teledetekcyjnych.

## USE OF TELEDETECTION IN ENVIRONMENTAL GEOLOGY

**Summary.** This paper presents various methods of using satellite images in environmental geology. Teledetection analysis is based on image transformation, enhancement of its quality, and data classification based on spectral reflection. Three examples – in mineralogy, in monitoring of waste industrial product, and monitoring of water basins – illustrate the application of teledetection data.

### 1. Wprowadzenie

Ludzkie oko postrzega jedynie mały wycinek widma elektromagnetycznego. Każda część tego wycinka jest widziana przez nas jako inny kolor. Większość ludzi rozróżnia kolory w zakresie od 400 do 700 nanometrów, od fioletu do głębokiej czerwieni. Aparaty fotograficzne mogą rejestrować promieniowanie świetlne w takim samym lub nieco poszerzonym zakresie spektrum (o bliską podczerwień). Istnieje zatem cały szereg zakresów spektralnych, których rejestracja pozostaje zarówno poza zasięgiem naszego oka, jak i aparatu fotograficznego (rys.1. - p. załącznik).

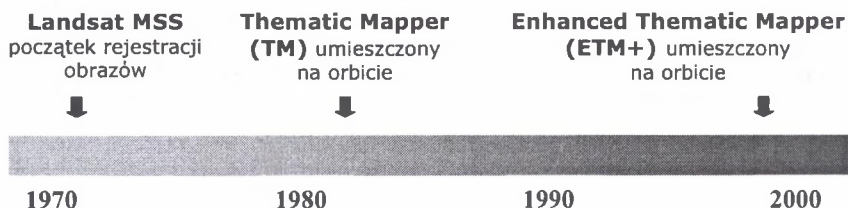
Działem nauk technicznych zajmującym się pozyskiwaniem, przetwarzaniem i interpretowaniem danych będących wynikiem rejestracji promieniowania elektromagnetycznego odbitego lub emitowanego przez różnego rodzaju obiekty jest **teledetekcja**. Rejestracji dokonuje się przyrządami przenoszonymi przez satelity lub samoloty. Pomiaru takie pozwalają wnioskować o istocie i rodzaju terenu oraz zachodzących na nim zjawiskach, lub też badać stan mórz i oceanów. Rozwój fotografii satelitarnej, a następnie obrazowań powierzchni Ziemi przez sensory niefotograficzne, spowodował rozszerzenie zakresu technik teledetekcyjnych przydatnych do badań geograficznych. Teledetekcja satelitarna wiąże się ściśle z zastosowaniem sensorów elektronicznych, zapisem danych na taśmach magnetycznych i z komputerowym opracowaniem danych [4].

Sensorem elektronicznym wykorzystywanym do wykrywania wszelkich źródeł emitujących energię cieplną jest skaner termalny. Skaner wielospektralny jest narzędziem rejestrującym promieniowanie w wielu zakresach spektralnych od widzialnego do podczerwieni, natomiast w zakresie długości fali od 1 mm do 1 m promieniowanie elektromagnetyczne odbierane jest przez radary.

Pozyskiwanie danych o powierzchni Ziemi za pomocą sensorów wielospektralnych odgrywa istotną rolę w teledetekcji satelitarnej. Pozwala ono na rozszerzenie zakresu obserwacji poza widmo widzialne i fotograficzne, a także na wybór ze zbioru pozyskanych danych tych, które są najbardziej przydatne do rozpoznania i charakterystyki badanych elementów środowiska [4].

## **2. Geologiczna interpretacja obrazów satelitarnych**

Do najczęściej wykorzystywanych zdjęć satelitarnych, zarówno ze względu na niesioną informację spektralną, ciągłą rejestrację danych od ponad 30. lat, jak i ułatwiony dostęp do archiwum zdjęć, należą obrazy satelitarne Landsat (rys. 2.). Kilkakrotne modernizowanie systemu skanerów, wraz z wprowadzeniem nowych zakresów spektralnych rejestracji danych, spopularyzowało dane Landsata jako najbardziej uniwersalne w dziedzinie nauk technicznych i przyrodniczych.



Rys. 2. Ciągłość rejestracji danych przez system satelitarny LANDSAT (źródło: [http://www.csc.noaa.gov/crs/rs\\_apps/sensors/landsat.htm](http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/landsat.htm))

Fig. 2. Timeline of Landsat mapping (source: [http://www.csc.noaa.gov/crs/rs\\_apps/sensors/landsat.htm](http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/landsat.htm))

Zastosowanie danych Landsat do interpretacji geologicznej w Polsce miało miejsce od przełomu lat 70. i 80. Wśród zalet tychże danych wymieniano: czytelność struktur i litologii oraz możliwość wykreślenia lineamentów i struktur kolistych. Do wad zaliczano niską rozdzielczość przestrzenną (30 i 60 m) i poniekąd spektralną (7 kanałów) pozyskiwanych danych. Wśród polskich naukowców pracujących na zdjęciach Landsat wymienić należy m.in.: M. Granicznego, W. Ozimkowskiego, T. Gliwicza, W. Mizerskiego, S. Doktor, P.H. Karnkowskiego.

Druga połowa lat 90. charakteryzowała się gwałtownym wzrostem praktycznego wykorzystania satelitarnych systemów zdalnego monitorowania powierzchni Ziemi. Wiązało się to z nową generacją systemów teledetekcyjnych o średniej i wysokiej rozdzielczości zobrazowań (Wolniewicz, 2002). Do takich systemów zaliczyć można satelitę TERRA z radiometrem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) rejestrującym w 14 kanałach spektralnych w rozdzielczości przestrzennej od 15 do 90 m (rys. 3. - p. załącznik).

### 2.1. Zastosowanie kanałów spektralnych radiometru ASTER w mineralogii

Zdjęcia satelitarne radiometru ASTER pozwalają na wnikliwą analizę powierzchni Ziemi pod kątem środowiska przyrodniczego, jak i geologii. Poszczególne zakresy spektralne obrazu, a następnie również ich barwne kompozycje wykorzystywane są w celu rozpoznania podłoża oraz zlokalizowania złóż (tab. 1.).

Tabela 1

Kanały spektralne ASTER a mineralogia  
(źródło: <http://asterimages.5u.com/technical/minerals.htm>)

Zakres spektralny	Skąły i minerały
1, 2, 3	hematyt, goethyt, jarosyt, wodorotlenki żelaza
5 (2.145-2.185)	dykit, kaolinit, alunit, pirofyllit, cyjanit, topaz, jarosyt
6 (2.185-2.225)	illit, muskowitz, smektyt, jarosyt
7 (2.235-2.285)	chloryt, amfibole, biotyt, epidot, nontronit, turmalin, jarosyt, dolomit, serpentyn
8 (2.295-2.365)	węglany, serpentyn, nontronit, saponit, chloryt, amfibole, biotyt, epidot, turmalin
9 (2.36-2.430)	chloryt, amfibole, biotyt, epidot, turmalin, nontronit, saponit

W tabeli nie uwzględniono kanałów bliskiej podczerwieni (4) oraz termalnych (10-14), ponieważ nie są one bezpośrednio wykorzystywane w mineralogii.

Kompozycje barwne interesujące pod względem dokładności i bogactwa informacji to:

*321 false-colour composite* (kompozycja w kolorach fałszywych) – ma najlepszą rozdzielczość przestrzenną i podaje podstawową informację na temat pokrycia terenu, roślinności,

*631 false-colour composite* – wskazuje najwięcej różnic w geologii i topografii terenu,

*468 false-colour composite* – umożliwia zlokalizowanie minerałów ilastych, węglanowych i siarczanowych na podstawie cech pochłanianego przez nie promieniowania [2] (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>).

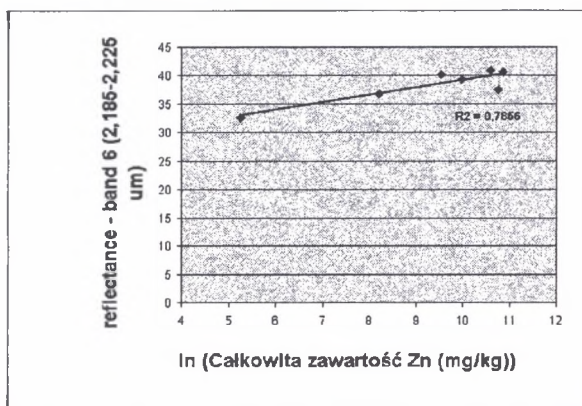
W załączniku przedstawiono scenę radiometru ASTER z dnia 30.03.2000 doliny Saline Valley w Kalifornii, w przykładowych kompozycjach barwnych stosowanych przy interpretacji zdjęć (rys. 4.)

## 2.2. Wykorzystanie obrazów satelitarnych ASTER w analizie przekształcenia antropogenicznego terenu

W badaniach własnych przeprowadzonych w ramach pracy magisterskiej w 2003 roku przeanalizowano 11 wybranych zwałowisk Górnego Śląska pod kątem zawartości metali ciężkich oraz emisji cieplnej. Badania oparto na zdjęciach satelitarnych ASTER z 2002 r. (rys. 5. - p. załącznik).

Kompozycja barwna sceny satelitarnej, przedstawiona w załączniku, uwypukla nienaturalne formy terenowe, jakimi są składowiska odpadów hutniczych w Piekarach Śląskich. Narzucająca się różnorodność odcieni fioleto sugeruje zróżnicowanie odpadów zarówno pod kątem składu, konsystencji, jak i barwy. Ponadto, wskazuje na skomplikowaną strukturę samych składowisk. Wstępna obserwacja umożliwia wydzielenie składowisk lub ich części, na których zachodzi powolny proces sukcesji roślinności.

Według przeprowadzonej wizji terenowej już sama powierzchnia trzech objętych analizą składowisk przekroczyła kilkakrotnie wartość podaną w roczniku dla gminy Piekary Śląskie. Analiza poszczególnych zakresów spektralnych i ich kombinacji zaowocowała wyznaczeniem wskaźnika korelacji pomiędzy zawartością Cd, Zn i Pb w podłożu a informacją spektralną (rys. 6.). Przedstawiony poniżej wykres jest przykładem wyznaczonej zależności pomiędzy zawartością cynku w mg/kg odpadów a odbiciem spektralnym w kanale 6 o długości fali 2,185-2,225  $\mu\text{m}$ .



Rys. 6. Wykres zależności pomiędzy zakresem spektralnego pasma 6 a zawartością Zn w próbkach pobranych ze składowisk odpadów hutniczych [3]

Fig. 6. Graph of dependence between Aster spectral channel 6 and Zn content in heavy metals waste dumps [3]

Zdjęcia satelitarne radiometru ASTER rejestrowane są w 14 kanałach, z których 5 to podczerwień termalna. Kanały termalne umożliwiają analizowanie terenu pod kątem właściwości termalnych powierzchni, wskazując m.in. na źródła emisji ciepłej, punkty zrzutu ścieków czy skalę rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Na przykładzie fragmentu sceny satelitarnej w Piekarach Śląskich wykazano występowanie wysp ciepła w okolicach zwałowisk (rys. 5).

### 2.3. Wykorzystanie obrazów satelitarnych Landsat MSS i Landsat 7 w analizie hydrogeologicznej

Sceny satelitarne są doskonałym źródłem informacji o stanie czystości zbiorników wodnych, szczególnie wód stojących. Mając do dyspozycji zobrazowanie z przebiegu kilku miesięcy czy lat, możliwe staje się monitorowanie zbiorników wodnych (w tym również określenie zawartości chlorofilu, nagromadzenia zawiesiny, stopnia rozwoju alg czy tempa postępowania procesu eutrofizacji) oraz prognozowanie zmian w nich zachodzących.

Na podstawie obrazów można stwierdzić występowanie obcych substancji i zlokalizować ognisko zanieczyszczenia [1].

W załączniku przedstawiono dwa przykłady wykorzystania obrazów satelitarnych do monitoringu zmian w hydrologii terenu. Pierwszy przykład nawiązuje do problemu wyschnięcia jeziora Hamoun w Iraku w przebiegu ostatnich 30. lat z powodu suszy oraz zabiegów melioracyjnych prowadzonych na okolicznych terenach (rys. 7.).

Drugi przykład dotyczy przyrastania powierzchni łąd w Chinach z powodu zachodzących procesów sedymentacyjnych (rys. 8.). Żółta Rzeka przepływa przez tereny o pokrywie lessowej, niosąc duże ilości błotnistych osadów. Obszar delty Żółtej Rzeki ulega zmianom od kilkudziesięciu lat ze względu na gromadzenie się kwarcu, miki i osadów z pól uprawnych. Porównanie zdjęć satelitarnych z lat 1979 i 2000 ukazuje dramatyczną skalę zachodzących zmian.

## 3. Wnioski

Różnorodność dostępnych na rynku materiałów teledetekcyjnych otwiera przed użytkownikiem możliwości wykorzystania ich do przeprowadzenia szerokiego zakresu badań. W artykule przedstawiono jedynie kilka przykładów danych teledetekcyjnych oraz sposobów ich wykorzystania w geologii i ochronie środowiska.

Radiometr ASTER został zaprojektowany specjalnie do analiz środowiskowych. Możliwość rejestrowania w aż pięciu kanałach spektralnych średniej podczerwieni (kanały 5-9) znajduje szerokie zastosowanie, szczególnie w analizach mineralogicznych. Opisana w przykładzie drugim (patrz 2.2.) znacząca korelacja pomiędzy zawartością metali ciężkich w podłożu a poszczególnymi zakresami spektralnymi danych ASTER pokazuje, jak ważne może być wykorzystanie interpretacji teledetekcyjnej do monitoringu i analiz terenów uprzemysłowionych. Otrzymane wyniki, ze względu na zaskakująco wysoki

współczynnik korelacji, wymagają dalszych badań w celu ich weryfikacji i wyznaczenia algorytmu postępowania.

Wykorzystanie kanałów widzialnych, bliskiej podczerwieni oraz termalnych stanowi bazę dla wszelkich analiz środowiskowych dotyczących m.in. kondycji roślinności, zmian pokrycia terenu bądź jego użytkowania, struktury krajobrazu, a także lokalizowania źródła zanieczyszczeń. Prowadzenie prac monitoringowych i wczesne wykrywanie zagrożeń przy użyciu danych satelitarnych staje się podstawowym elementem badań środowiska Ziemi.

## LITERATURA

1. Gliwicz T.: Zastosowanie komputerowej analizy scen satelitarnych w detekcji niekorzystnych zmian środowiska. *Przeł Geol.*, vol. 49, nr 12, 2001.
2. Junek P.: Geological mapping in the Cheleken Peninsula, Turkmenistan area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data, XXth ISPRS Congress "Geo-Imagery Bridging Continents", 12 - 23 July 2004 in Istanbul, Turkey 2004.
3. Main M.: Wykorzystanie metod geoinformatycznych do identyfikacji i charakterystyki składowisk odpadów przemysłowych dla potrzeb rekultywacji. *Inżynieria Środowiska*, t. 9, z. 2, 2004.
4. Sitek Z.: Wprowadzenie do teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Wyd. AGH, Kraków 1997.
5. Wolniewicz W.: Bez korekcji ani rusz Dlaczego zdjęcia IRS są w Polsce mało popularne? *Geodeta*, Nr 6 (85), 2002.

### Źródła internetowe

<http://www.kentype.pl/tobias/bulletin.htm>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum#Classifications](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#Classifications)

[strony.aster.pl/izdebski/WykladySIT/WykladSIT\\_05.pdf](http://aster.pl/izdebski/WykladySIT/WykladSIT_05.pdf)

<http://asterimages.5u.com/technical/minerals.htm>

<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>

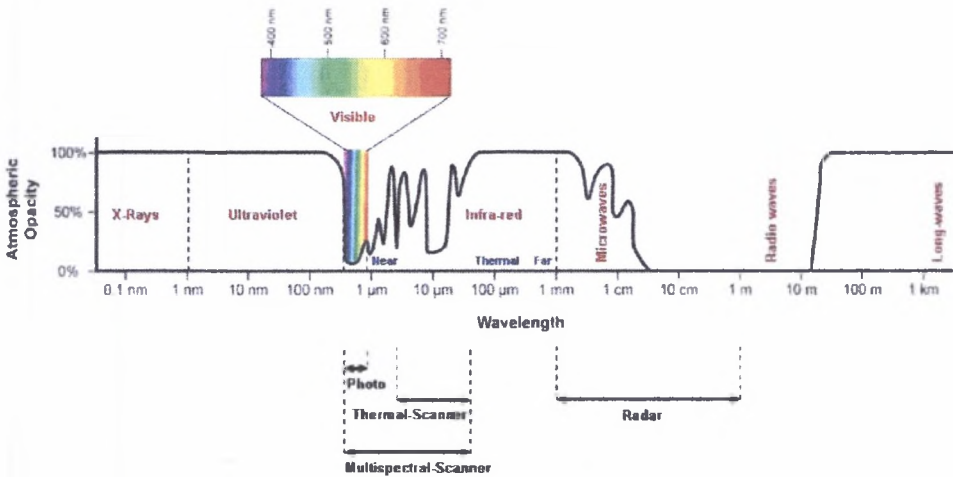
[http://www.csc.noaa.gov/crs/rs\\_apps/sensors/landsat.htm](http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/landsat.htm)

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wacław M. Zuberek

## WYKORZYSTANIE TELEDETEKЦИИ W GEOLOGII ŚRODOWISKOWEJ

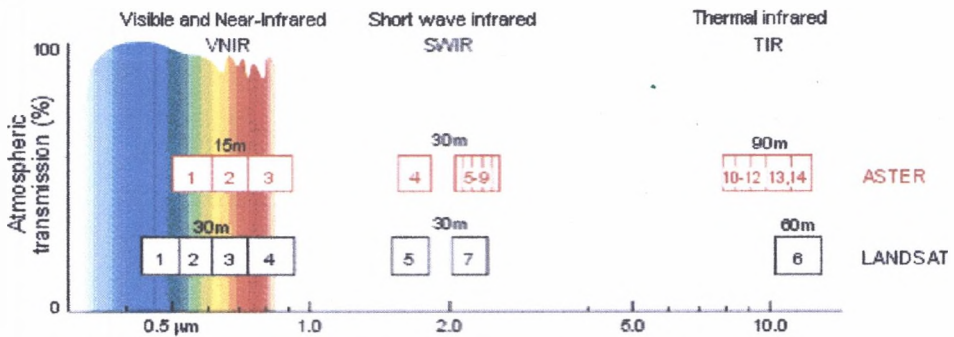
Magdalena Main

### Spektrum elektromagnetyczne



Rys. 1. Zakresy promieniowania elektromagnetycznego ze wskazaniem urządzeń rejestrujących (wykonano na podst. <http://www.kentype.pl/tobias/bulletin.htm> i [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum#Classifications](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#Classifications))

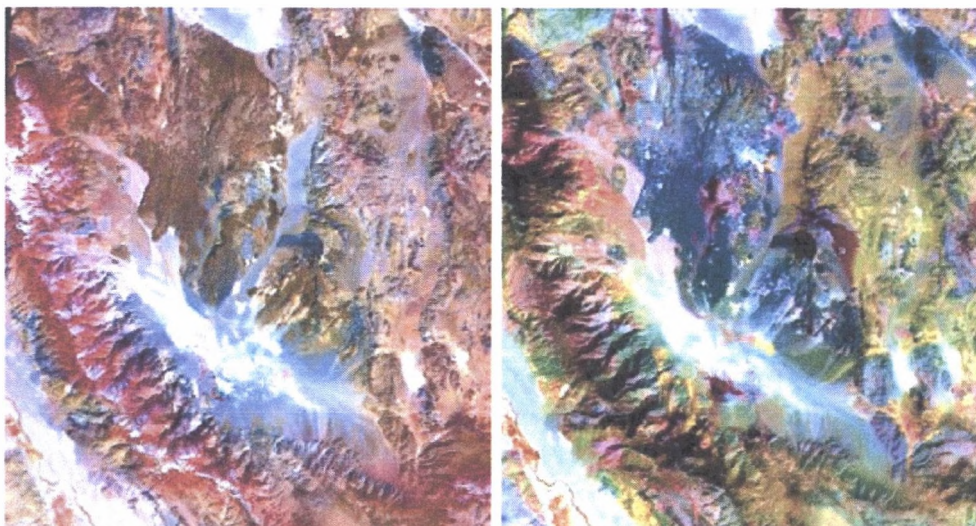
Fig. 1. Electromagnetic spectrum with type of sensors (source: <http://www.kentype.pl/tobias/bulletin.htm> i [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum#Classifications](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#Classifications))



Rys. 3. Porównanie rozdzielczości spektralnych ASTER i LANDSAT (źródło: <http://asterimages.5u.com/technical/minerals.htm>)

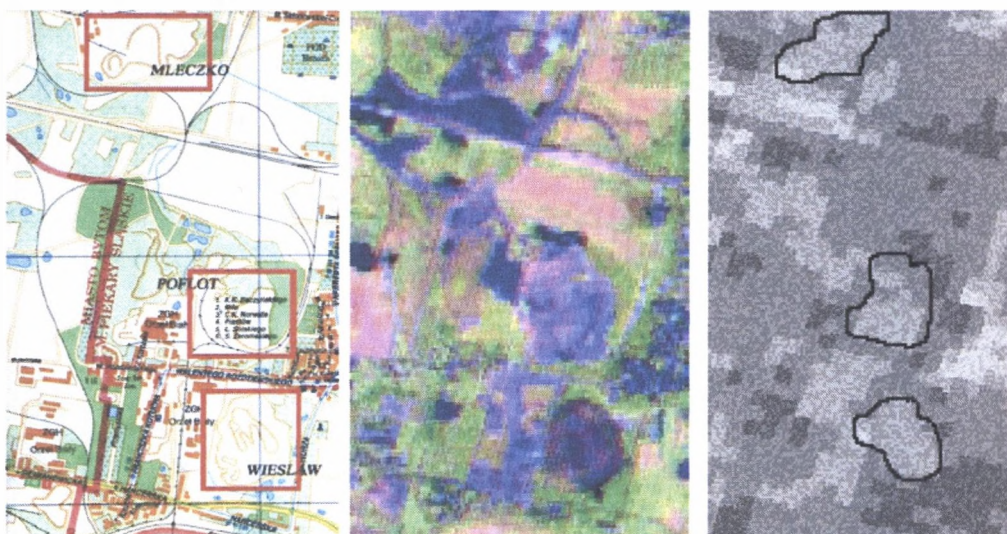
Fig. 3. Comparison of spectral resolution between ASTER and LANDSAT (source: <http://asterimages.5u.com/technical/minerals.htm>)





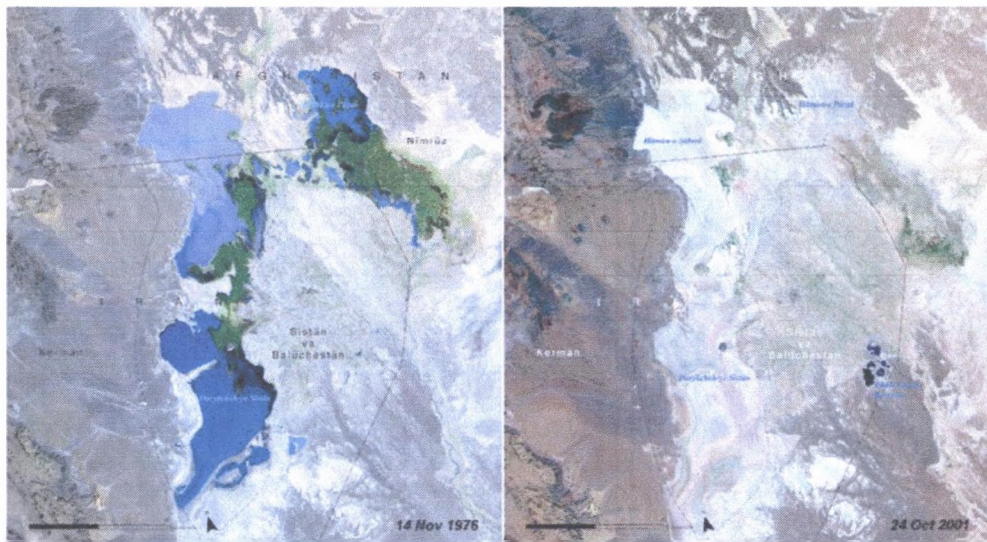
Rys. 4. Strona lewa: kompozycja barwna 321: roślinność (czerwony), śnieg i wyschłe słone jezioro (biały), skały (brązowy, szary, żółty, niebieski); strona prawa: kompozycja barwna 468: wapienie (żółto-zielony), podłoże bogate w kaolinit (purpurowy) (źródło: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>)

Fig. 4. Left image: 321 false-colour composite: vegetation (red), snow and dry salt lakes (white), rocks (brown, gray, yellow and blue); right image: 468 false-colour composite: limestones (yellow-green), kaolinite-rich areas (purple) (source: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>)



Rys. 5. Składowiska odpadów hutniczych w Piekarach Śląskich, po lewej stronie wg Atlasu GOP z 2001 r., w środku scena radiometru Aster z 2002 r. w kompozycji barwniej 432 – kolory zbliżone do naturalnych, po prawej stronie scena radiometru Aster z 2002 r. kanał termalny 13 – im wyższa emisja energii cieplnej, tym jaśniejsze barwy na obrazie [3]

Fig. 5. Heavy metals waste dumps in Piekary Śląskie, left image: map from Atlas GOP 2001, centre image: Aster scene from 2002 in true-colour composite 432, right image: Aster scene from 2002 thermal band – When emission is higher then the pixels of image are brighter [3]



Rys. 7. Jezioro Hamoun w Iraku na zdjęciach Landsat z 1976 i 2001 r. (źródło: "UNEP 2005 One Planet Many People, atlas of our changing environment")

Fig. 7. Hamoun Lake in Iraq, Landsat images from 1976 and 2001 (source: "UNEP 2005 One Planet Many People, atlas of our changing environment")



Rys. 8. Delta Żółtej Rzeki w Chinach. Pomiedzy rokiem 1979 a 2000 kilkaset kilometrów kwadratowych nowo uformowanej powierzchni zostało przyłączonych do wybrzeża chińskiego (źródło: "UNEP 2005 One Planet Many People, atlas of our changing environment")

Fig. 8. Delta of the Huang He (Yellow River) in China. Several hundred square kilometres of newly formed land were added to China's coast during this period (source: "UNEP 2005 One Planet Many People, atlas of our changing environment")