

Obrazy satelitarne a zmiany środowiska

Satellite imagery and changes in the environment

Jan R. Olędzki

One of the tasks for the contemporary Earth sciences is the tracing of changes ongoing in the environment of our planet. Teledetection, and especially satellite systems, have proved invaluable here, being able to register data on different environmental components. Different satellite systems allow data to be obtained on both the local and the continental — or even global — scale, thereby making it possible to obtain images and other data on environmental transformations under the influence of natural processes or those brought about by the human activity that is at present the most dynamic factor modifying the environment. Both these rapid processes, and

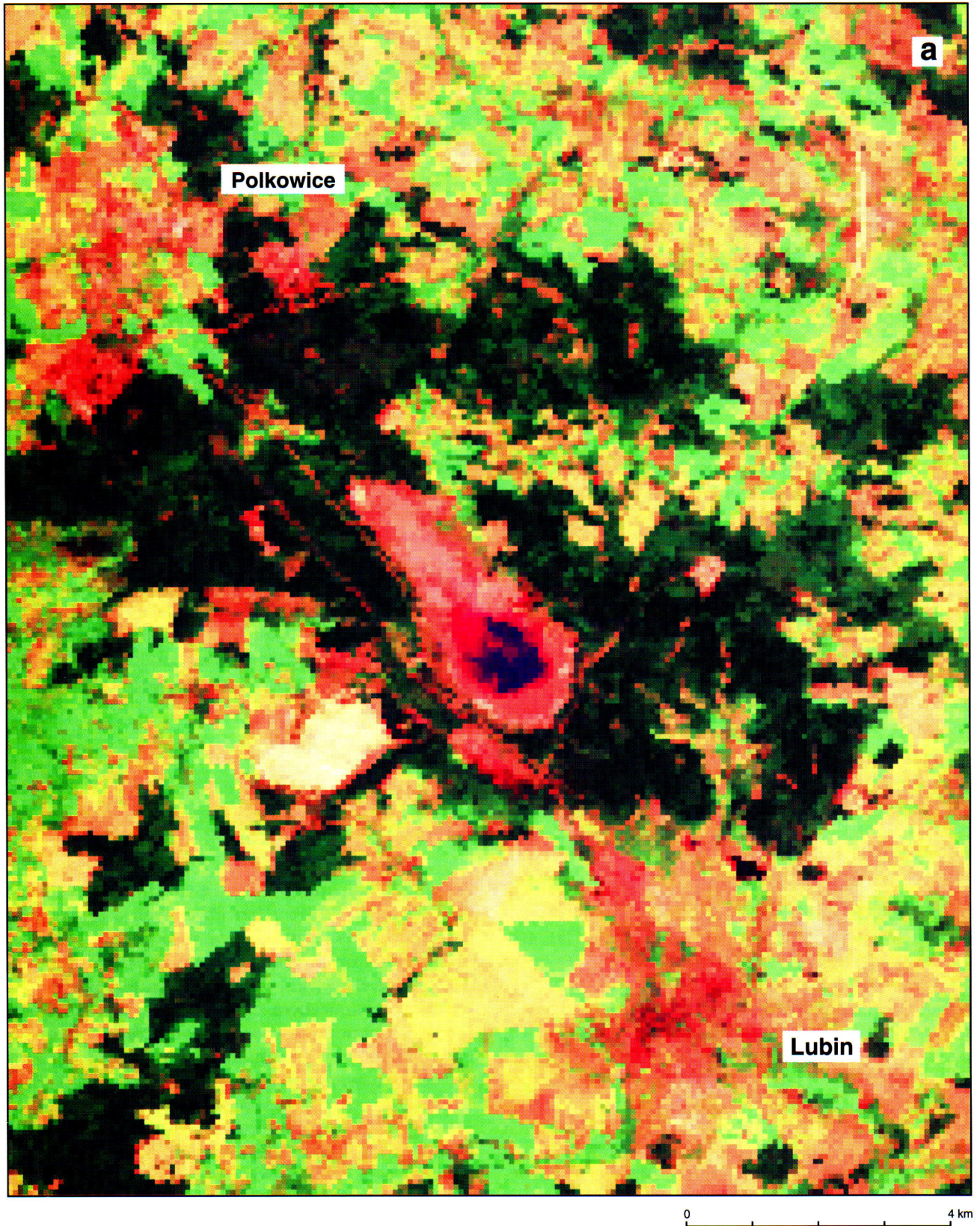
the slow geodynamic processes can be considered. On the basis of a series of studies, it is possible to specify several thrusts to environmental research that would be difficult or impossible to pursue were satellite data lacking. The specifics of this research depend on the orbital altitude of the satellites, the degree of both temporal and spatial detail to the data they supply and the scope and radiometric resolution detail to the registered data. Presented further on in the article are several fields from the environmental sciences in which satellite data have played an especially leading role.

Jednym z zadań współczesnych nauk o Ziemi jest śledzenie zmian zachodzących w środowisku naszej planety. Od swego powstania, przed 4 miliardami lat, środowisko Ziemi podlega nieustannej ewolucji. O większości tych zmian możemy wnioskować z badań prowadzonych przez specjalistów z zakresu astronomii, geofizyki, biologii i geologii. Większość dziejów Ziemi jest jednak słabo udokumentowana. Dopiero o ostatnich około 580 milionach lat, a więc od czasu gdy wykształciły się bardziej skomplikowane żywe organizmy, wiemy stosunkowo dużo. Na podstawie badań geologicznych odtworzono wiele procesów, które przeobrażały środowisko na Ziemi, w różnych aspektach. Dla życia i gospodarowania człowieka na Ziemi najbardziej interesujące są zjawiska aktualnie zachodzące. Stąd między innymi w ostatnich latach powstało wiele międzynarodowych programów badawczych ukierunkowanych na obserwację zmian zachodzących na Ziemi. Nieocenione usługi oddaje tu teledetekcja, a zwłaszcza systemy satelitarne, które potrafią zarejestrować dane o różnych komponentach środowiska. Poszczególne systemy satelitarne pozwalają na pozyskiwanie danych zarówno w skali lokal-

nej jak i kontynentalnej czy też globalnej. Umożliwia to uzyskiwanie obrazów i innych danych o przekształceniach środowiska ziemskiego zarówno pod wpływem procesów naturalnych, jak i tych powodowanych przez działalność człowieka. Działalność ta jest obecnie najbardziej dynamicznym czynnikiem przekształcającym środowisko tak przez procesy szybko przebiegające jak i powolne procesy geodynamiczne. Wszystko to pozwala na konstruowanie planów strategicznych obserwacji Ziemi. Ostatnio taką strategię opracowuje się w Europejskiej Agencji Kosmicznej o nazwie „Żyjąca planeta” (Bonnet i in., 1999; Megie, Readings, 1999; Rummel, Johannessen, 1999; Hollingsworth, Ingmann, 1999; Rott, Rast, 1999; Carli, Langen, 1999; Wingham, 1999)

Ukazało się już wiele opracowań prezentujących uzyskane wyniki w sposób, bądź to naukowy (Szekielda, 1988; Gurney i in., 1993), bądź popularny (Bachel, 1996).

Większość danych, pozyskanych w latach 1973–1995, na temat różnych zjawisk zachodzących na powierzchni Ziemi, dostarczona została za pośrednictwem satelitów serii Landsat, SPOT, ERS, NOAA, Meteosat i NIMBUS.



Ryc 1. Kompozycje obrazów satelitarnych (a) z Landsata MSS (1976) i (b) z Landsata TM (1992), ukazujące zmiany jakie, zaszły w środowisku w okolicach Lubina i Polkowic, na terenie objętym działalnością kombinatu miedziowego KGHM
Przetworzenie zdjęć i wykonanie kompozycji dr inż. Stanisław Lewiński (IGiK)

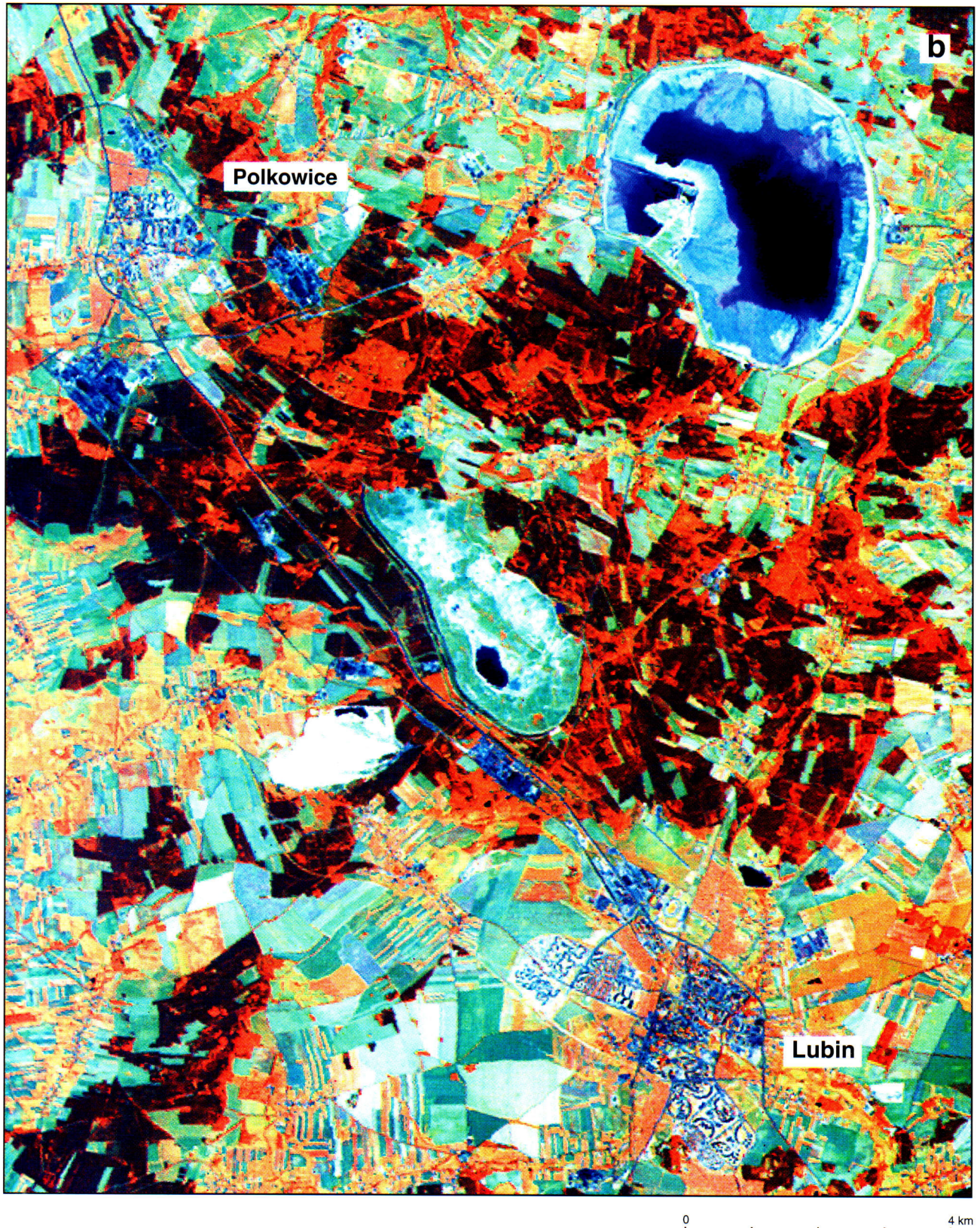


Fig. 1. Composite satellite imagery from (a) Landsat MSS (1976) and (b) Landsat TM (1992), showing changes occurring in the environment of the Lubin and Polkowice areas, on land encompassed by activities of the KGHM copper plant. Image-processing and composition by Stanisław Lewiński, D.Eng. (IGiK)

Na podstawie wspomnianego powyżej opracowania Lothara Beckela, pod tytułem *Geo Global Change, Satellitenbilder dokumentieren wie sich die Welt verändert* można wyspecyfikować kilka kierunków badań środowiska ziemskiego, które bez danych satelitarnych byłyby trudne lub wręcz niemożliwe do realizacji. Specyfika tych badań zależy od wysokości orbitalnej satelitów, rozdzielczości dostarczanych przez nich danych, zarówno przestrzennych jak i czasowych, oraz od zakresu i rozdzielczości radiometrycznej rejestrowanych danych.

Satelity geostacjonarne umożliwiają jednoczesną obserwację całej Ziemi. Obrazy pozyskiwane za ich pośrednictwem z odległej przestrzeni kosmicznej ukazują zmienność oblicza Ziemi w ciągu doby i roku.

Szczególnie przydatne okazały się satelity do badań atmosfery. Poza rutynową obserwacją pogody, stwarzają one możliwość badania procesów zachodzących w atmosferze. Dzięki satelitom możliwe było przestrzenne i czasowe pokazanie zmienności zawartości ozonu w atmosferze, tzw. „dziury ozonowej”. Porównanie obrazów wykonanych we wrześniu i październiku dla półkuli południowej i w marcu i kwietniu dla półkuli północnej, w latach: 1979 i 1990, wskazuje na znaczne obniżenie wskaźnika Dobsona. Dzięki wykorzystywaniu zakresów promieniowania elektromagnetycznego pochłanianego przez różne domieszki gazowe możliwe jest śledzenie zwiększającej się w atmosferze zawartości CO₂. Dane te nie tylko ukazują aktualną sytuację, ale w połączeniu z systemami informacji geograficznej umożliwiają symulację wpływu zwiększania się zawartości CO₂ w atmosferze na wzrost temperatury na Ziemi (efekt cieplarniany) i rozwój roślinności oraz podnoszenia się poziomu wód oceanicznych.

Poczynając od pierwszego satelity do badań mórz i oceanów — SEAST, umieszczonego na orbicie okołoziemskiej w roku 1978, dane satelitarne wzbogaciły w olbrzymim stopniu wiedzę o tych obszarach. Dzięki zastosowaniu aktywnego systemu rejestracji danych mikrofalowych możliwe było pokazanie wielu zjawisk dotychczas nierejestrowalnych przestrzennie. Umożliwiły one uzyskanie dokładnych obrazów przestrzennego rozkładu prędkości wiatrów nad oceanami, wysokości fal, rozkładu temperatury powierzchni wód w poszczególnych porach roku, a zwłaszcza latem i zimą. Szczególnym zainteresowaniem oceanologów teledetekcyjnych cieszy się rejestracja za pośrednictwem termalnego zakresu AVHR, satelitów NOAA, często wspomnianego w ostatnich latach fenomenu El Niño. Z innych zagadnień oceanologicznych obrazy satelitarne są wykorzystywane do śledzenia rozmieszczenia fitoplanktonu w różnych porach roku. W skali lokalnej można na podstawie obrazów satelitarnych zapoznać się z procesami kształtującymi wybrzeże w strefie pływów oraz z rozprzestrzenianiem się alg. Wielokrotnie zagadnienie to pokazywano na przykładzie wybrzeży północnej części Adriatyku. Teledetekcja oceanologiczna umożliwiła nie tylko pokazanie układu prądów morskich, ale wzbogaciła informację o nich przez oceną prędkości przemieszczania się wód oceanicznych. Szybkości te są dość

zmiennie i wynoszą od około 6 do ponad 24 mil morskich na dobę. Interesujące jest przy tym to, że prądy ciepłe są szybsze niż prądy zimne. Największe szybkości płynięcia wód występują w Prądzie Południoworównikowym, w rejonie Karaibów, w południowej części Prądu Zatokowego, u wybrzeży Stanów Zjednoczonych, oraz w Prądzie Przeciwprądzie Równikowym u wybrzeży Afryki. Szybkim prądem jest również Kurosiwo u wybrzeży Japonii. Z prądów zimnych najszybsza jest północna odnoga Prądu Równikowego na Oceanie Indyjskim, opływająca wschodnie wybrzeże Afryki. Obrazy satelitarne wykonywane w zakresie promieniowania mikrofalowego są doskonałym narzędziem do monitorowania zanieczyszczenia mórz i oceanów ropą naftową. Wykorzystuje się w tym przypadku jedną z cech rejestrowanych na obrazach radarowych, a mianowicie szorstkość powierzchni. Rozlana na powierzchni wody ropa naftowa znacznie zwiększając napięcie powierzchniowe, wygładza sfalowaną powierzchnię wodną. Wygładzona powierzchnia odbijając w lustrzany sposób wysyłane z satelity promieniowanie radarowe jest rejestrowana jako powierzchnia wyraźnie ciemniejsza niż wody pokryte drobnymi falami. Umożliwia to wykrycie nawet niewielkich zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi. Obrazy satelitarne umożliwiają w ten sposób śledzenie zarówno przypadków płukania, na redach portów, zbiorników tankowców przewożących ropę naftową, jak również śledzenie rozmiarów wielkich katastrof zbiornikowców. Spektakularnym przykładem może tu być katastrofa, która wydarzyła się w grudniu 1992 roku u wybrzeży atlantyckich Hiszpanii nieopodal Corunii, kiedy to w wyniku rozbicia się zbiornikowca „Aegean Sea”, do morza wyciekło około 70 000 ton ropy, niszcząc ponad 100 km wód przybrzeżnych. Obraz radarowy pokazuje dokładnie w jaki sposób ropa rozprzestrzeniała się w wodach przybrzeżnych.

Innym nieco zagadnieniem, ale również związanym z wodą, są obrazy zmienności pokrywy śnieżnej — jej grubości, w skali globalnej oraz roczna rytmika morskiej pokrywy lodowej wokół Antarktydy.

Obrazy satelitarne o różnej rozdzielczości przestrzennej były i są wykorzystywane do badania różnych zagadnień na obszarach lądowych. Zestawienie obrazów o mniejszej rozdzielczości pozwoliło sporządzić mapę globalną głównych stref krajobrazowych Ziemi. Wyróżniono na niej 23 strefy krajobrazowe. Zwraca uwagę dwudzielność złożoności struktury krajobrazowej Ziemi. Do obszarów o największej zmienności należą południowa część Azji, Afryka, Ameryka Południowa i Australia. Najmniej zróżnicowane są, w skali globalnej, Ameryka Północna, północna część Azji i Europa. W obrębie tej ostatniej wyróżniono zaledwie 6 stref krajobrazowych. W skali kontynentalnej i krajowej opracowanie tego typu, na podstawie obrazu satelitarnego z NOAA i obrazów MSS z satelity Landsat, zostało wykonane przez autora dla Europy i Polski (Olędzki, 1986, 1992). Pokrewnym zagadnieniem, mającym istotny wpływ na fizjonomię krajobrazu, jest roślinność. Zdjęcia satelitarne pozwoliły pokazać pulsacyjny charakter rozwoju roślin-

ności, wyrażony poprzez zmienność wskaźnika wegetacji (NDVI), obliczanego na podstawie stosunku promieniowania widzialnego (czerwonego) i podczerwonego. Zmienność tego wskaźnika, ukazana w cyklach dwumiesięcznych, pozwala uwidocznić obszary ze stałe wysokim wskaźnikiem zieleni (głównie Ameryka Południowa) i stałe niskim wskaźnikiem (północna część Afryki, środkowa część Azji i Australia). Pozostałe tereny charakteryzują się znaczną zmiennością tego wskaźnika. Nie jest to oczywiście jakieś odkrycie nieznanych faktów, ale ukazanie przestrzennego, precyzyjnego obrazu tych zmienności umożliwiły dopiero dane satelitarne. Warto odnotowania jest fakt znacznego zróżnicowania wskaźnika zieleni w ciągu roku, dla Środkowej Afryki, gdzie strefa stabilności tego wskaźnika ogranicza się jedynie do stosunkowo niewielkiego obszaru objętego Wyżynami Adamaua i Azande, w północnej części Kotliny Konga.

Stabilność obszarów „zieloności” Ameryki Południowej, którymi są głównie lasy, zwłaszcza Wyżyny Brazylijskiej i Niziny Amazonki (a są to „płuca Ziemi”), zagrożona jest kolonizacją rolniczą obejmującą znaczne obszary, choć jeszcze w obrazie globalnym tego nie widać. Ekspansja pól uprawnych na obszarach lasów równinowych ukazywana jest na obrazach o wyższej rozdzielczości, zwłaszcza za pośrednictwem obrazów TM z satelity Landsat. Na obrazie satelitarnym Stanu Rondonia (w zachodniej Brazylii) można obserwować poszczególne stadia ekspansji deforestacji na rzecz obszarów rolniczych. Często taka strategia rozwoju kończy się tragicznie, zwłaszcza gdy pod uprawę brane są ziemie szczególnie podatne na erozję. Przykładem skutków takiego „rozwoju” jest zdjęcie z Południowej Dakoty, na którym widoczne są rozmiary erozji gleb, która zamieniła rozległe przestrzenie w tzw. bad landy. Zdjęcia satelitarne odsłaniają również przedsięwzięcia związane z nadmierną eksploatacją lasów w warunkach surowego klimatu, nie sprzyjającego szybkiemu odnowieniu zasobów naturalnych. Przykładem uwidaczniającym skutki takiej gospodarki, na obszarach niedostępnych dawniej dla obserwacji ze względów politycznych, jest zdjęcie fragmentu Autonomicznej Republiki Komi w Rosji. Zagrożeniem dla lasów są również pożary. Teledetekcja jest tu szczególnie pomocna (Mycke-Dominko, 1998). Zdjęcia satelitarne mogą pokazać skutki olbrzymich pożarów lasów obejmujących swym zasięgiem tysiące kilometrów kwadratowych. Przykładem może być zdjęcie landsatowskie z Mandżurii, gdzie w wyniku pożaru w roku 1987 spłonęło ponad 10 000 km² lasu.

Obrazy satelitarne pokazujące szatę roślinną, ujawniają czywistą prawdę, że łatwiej jest niszczyć niż tworzyć. Jak znikome są osiągnięcia gospodarki człowieka, usiłującego zamienić pustynię na pola uprawne, pokazują zdjęcia z Arabii Saudyjskiej, z okolic Ar-Rijadu, gdzie wśród piasków pustyni, na stosunkowo niewielkiej powierzchni, występują sztucznie urządzone pola uprawne, na których wzrost roślinności uwarunkowany jest sprawnym funkcjonowaniem wielkich, kilkaset metrów liczących deszczowni, poruszających się w kółko.

Tworzą one doskonale widoczne na obrazach satelitarnych charakterystyczne zbiorowiska kolistych pól, z roślinnością znajdującą się w różnych fazach wzrostu.

Obrazy satelitarne mogą pokazywać zagospodarowanie przestrzenne w otoczeniu dużych przedsięwzięć inżynierskich budownictwa wodnego, takich jak największa elektrownia wodna na świecie, zbudowana na rzece Paranie, nieopodal słynnych wodospadów Iguaçu, czy też kompleks hydroenergetyczny na Dunaju — Gabczikowo, który na tle sporów natury ekologicznej wywołał jeden z większych kryzysów politycznych w Europie Środkowej.

Obrazy satelitarne są w zasadzie jedynym materiałem ukazującym w sposób spektakularny, a jednocześnie o dużych walorach faktograficznych, zmiany zachodzące w środowisku w takich sytuacjach, jak na przykład dramatycznie zmniejszająca się powierzchnia Morza Aralskiego, czy też zanik Jeziora Czad w Afryce.

Niektóre z satelitów wyposażane były w rejestratory sztucznych źródeł światła. Dzięki temu możliwe było pokazanie w skali kontynentalnej i globalnej rozmieszczenia szczególnie gęsto zasiedlonych obszarów, o zaawansowanym rozwoju technologicznym.

Tak więc, obrazy satelitarne umożliwiają szybkie dostarczanie danych o zmieniających się warunkach środowiska na Ziemi. Przykładem niech będą dwa zdjęcia: Landsat MSS i Landsat TM, z terenu Polski, z okolic Lubina i Polkowic, które ukazują zmiany w środowisku w wyniku powstawania wielkiego kombinatu miedziowego KGHM, składającego się z kopalni, zakładów przetwórczych i zbiorników poflotacyjnych. Dane te są bardzo precyzyjne, dokładne pod względem kartograficznym i niosą wiele nowych informacji o zjawiskach zachodzących na powierzchni Ziemi.

Literatura

- Backel (ed.), 1996: *GEO GLOBAL CHANGE, Satellitenbilder dokumentieren, wie sich die Erde verändert*. RV Reise und Verkehrsverlag GmbH, München, Stuttgart.
- Bonnet R., Mastracci C., Soutwood D., 1999: The Strategy for Earth Observation. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.
- Carli B., Langen J., 1999: Atmosphere and Marine Environment: Anthropogenic Impact. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.
- Gurney R.J., Foster J.L., Parkinson C.L., 1993: *Atlas of satellite observations related to global change*. Cambridge University Press.
- Hollingsworth A., Ingmann P., 1999: The Physical Climate. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.
- Megie G., Readings C. J., 1999: The Science and Research Elements of the Living Planet Programme. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.
- Mycke-Dominko, 1998: Zastosowanie metod teledetekcyjnych w badaniach pożarzyst. *Pierwsza Bałtycka Konferencja nt. pożarów lasów*, 5–8 1998 r.
- Olędzki J.R., 1986: Photomorphic regionalization of Poland. *Miscelanea Geographica*, UW, Warszawa.
- Olędzki J.R., 1992: Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podziału na jednostki fotomorfoliczne. *Dissertationis Universitatis Varsoviensis*, nr 396, Wyd. UW, Warszawa.

Rott H., Rast M.. 1999: Geosphere/Biosphere. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.
 Rummel R., Johannessen J.A., 1999: Earth Interior. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.
 Szekięda K-H., 1988: *Satellite Monitoring of the Earth*. John

Wiley & Sons, New York–Chichester–Brisbane–Toronto–Singapore.
 Wingham D.W., 1999: The first ESA's Opportunity Missions: Cryosat. *Earth Observation Quarterly*, nr 63.



Dr hab. Jan R. Olędzki (ur. 1941 r.), geograf; pracuje w Uniwersytecie Warszawskim, kierownik Zakładu Teledetekcji Środowiska na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych.; członek Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk; członek Rady Naukowej Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk; przewodniczący Klubu Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego; re-

i ochronie środowiska. Główne opracowania to: *Wpływ zróżnicowania budowy geologicznej na rzeźbę w Górach Świętokrzyskich* (1976); *Zastosowanie zdjęć lotniczych w badaniach obszarów zurbanizowanych* (1981); *Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podziału na jednostki fotomorfoliczne* (1992); *Wpływ wybranych komponentów środowiska na zróżnicowanie fototonu wielospektralnych obrazów satelitarnych* (1992); *Obrazy satelitarne jako podstawa regionalizacji geograficznych* (1999). Jest również współautorem podręczników akademickich: *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych* (1988); *Ćwiczenia z teledetekcji środowiska* (1999) i *Interpretacja zdjęć lotniczych* (1999).

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Teledetekcji Środowiska; ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa; e-mail: joledzki@wgsr.uw.edu.pl

daktor naukowy serii „Fotointerpretacja w Geografii — Problemy Telegeoinformacji”; redaktor naczelny biuletynu informacyjnego w zakresie teledetekcji „Okólnik TD”. Specjalizuje się w zakresie teledetekcji środowiska, a zwłaszcza w wykorzystywaniu zdjęć lotniczych i satelitarnych w badaniach struktury