

ANDRZEJ CIOŁKOSZ

Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa

PERSPEKTYWY ZASILANIA SIP DANYMI Z NOWEJ GENERACJI SATELITÓW OBSERWACYJNYCH ZIEMI

Rozpoczynający się nowy wiek, zapoczątkowujący jednocześnie nowe tysiąclecie, przyniesie wielkie wyzwanie ludzkości. Przyjdzie jej bowiem już wkrótce stawić czoła nie tylko nowym problemom, ale przede wszystkim problemom znanym już powszechnie, których skala znacznie przerosła dotychczasowe wyobrażenia. Wśród nich należy przede wszystkim wymienić wzrost liczby mieszkańców naszej planety, postępującą degradację środowiska, globalne zmiany klimatu, których skutki są trudne jeszcze do przewidzenia, narastające zagrożenie katastrofami ekologicznymi i naturalnymi (erupcje wulkaniczne, trzęsienia ziemi, pożary, El Nino), konieczność zagospodarowywania terenów dotychczas niewykorzystywanych z uwagi na niesprzyjające warunki fizyczno-geograficzne czy wreszcie choroby cywilizacyjne.

Warto przypomnieć, że dwa tysiące lat temu świat wkroczył w erę nowożytną z liczbą około 300 mln osób. W ciągu pierwszego tysiąclecia naszej ery wzrost liczby mieszkańców był znikomy. Ocenia się, że z chwilą wkraczania ludzkości w drugie tysiąclecie na Ziemi żyło nieco ponad 300 mln ludzi. W miarę doskonalenia sposobów opanowania środowiska przez człowieka wzrastała liczba ludności świata. W pierwszych 600 latach drugiego tysiąclecia liczba ludności wzrosła o ponad 300 mln, co spowodowało, że około 1600 r. liczba mieszkańców naszej planety podwoiła się w porównaniu z początkiem ery nowożytnej. Kolejne podwojenie ludności świata nastąpiło po 200 latach. Około 1930 r. ludzkość osiągnęła już liczbę 2 mld, a w roku 1960, a więc w trzydzieści lat później – 3 mld. Od tamtej chwili upłynęło zaledwie 40 lat, kiedy nastąpiło kolejne podwojenie liczby ludności. Tak więc dzisiaj, pod koniec XX w. jest nas ponad 6 mld. W ciągu 2000 lat liczba mieszkańców Ziemi wzrosła ponad 20-krotnie. Jeśli obecna tendencja wzrostu liczby ludności utrzyma się, to pod koniec XXI w. na globie ziemskim będzie żyło ponad 10 mld ludności (Kaczmarek T. 1998).

Tempo przyrostu mieszkańców Ziemi najlepiej oddają inne zestawienia. Dziennie liczba ludności świata wzrasta prawie o 250 000 osób, co oznacza, że w ciągu każdej sekundy przybywają 3 osoby. Co mniej więcej

dwa miesiące liczba ludności świata powiększa się o tylu mieszkańców, ilu w tej chwili mieszka w Warszawie.

Powierzchnia wszystkich łądów kuli ziemskiej wynosi nieco ponad 149 mln km². Pod koniec XX w. niemal 32% tej powierzchni (czyli ok. 48 mln km²) pokrywały lasy. Użytki zielone zajmowały 26% łądów (39 mln km²), zaś grunty orne zaledwie 11% powierzchni łądów (ok. 16 mln km²). Tereny zurbanizowane zajmowały prawie 2 mln km² (nieco ponad 1%). Pozostałą część łądów, czyli ok. 30% (44 mln km²) stanowiły nieużytki. Tereny rolnicze, a więc grunty orne i użytki zielone zajmowały łącznie niemal 37% powierzchni łądów (Grzebisz W. 1998). Wraz ze wzrostem liczby ludności maleje powierzchnia gruntów ornych przypadająca na jednego mieszkańca. Na początku lat 90. średnia światowa wynosiła 0,24 ha na mieszkańca i w porównaniu z początkiem lat 60. zmniejszyła się aż o 45% (Berry J.B., Conkling E.C., Ray D.M 1997).

W następstwie wielowiekowych procesów glebotwórczych gleby wytworzyły się na obszarze 4,7 mld ha, z tego pod uprawę nadaje się potencjalnie niemal 3,5 mld ha. Współcześnie wykorzystuje się zaledwie około 1,5 mld ha najżyźniejszych i najłatwiej dostępnych użytków rolnych. Na początku lat 90. niemal 40% gruntów ornych na świecie było dotkniętych degradacją. Degradacja gleb jest związana z negatywnymi skutkami industrializacji i urbanizacji, wylesianiem znacznych połaci globu ziemskiego, a także błędami popełnianymi w produkcji rolnej. W latach 1945-1980 zdegradowano 579 mln ha gleb w następstwie usunięcia roślinności, 133 mln ha w wyniku nadmiernej eksploatacji, 679 mln ha – zbytniego wypasu, 522 mln ha – działalności rolniczej i 23 mln ha wskutek zagrożeń przemysłowych i bioprzemysłowych (Grzebisz W. 1998).

W ciągu roku na świecie ubywa 23 mld t gleb. Gdyby proces zanikania przebiegał dalej w tym samym tempie, to istniejące zasoby zostałyby zniszczone w ciągu 150 lat. W wyniku różnych form degradacji (erozji, wtórnego zasolenia, zanieczyszczeń przemysłowych) oraz przejmowania użytków rolnych na cele nierolnicze rocznie ubywa 5-7 mln ha gleb i ta liczba ciągle rośnie. Ogólna powierzchnia zniszczonych, niegdyś produktywnych gleb wynosi współcześnie około 2 mld ha, a więc znacznie więcej niż użytkowany obecnie areal gruntów ornych. Proces degradacji gleb narasta w tempie 5-6 mln ha rocznie. Różne są tego przyczyny. Jedną z nich jest erozja, inną zaś pustoszczenie gleb (Kuciński K. 1999). To zjawisko zachodzi już na jednej piątej powierzchni łądowej Ziemi, zamieszkałej prawie przez 80 mln ludzi. Rocznie w wyniku upustynnienia traci się 200 000 km² gleb.

Kurczenie się zasobów glebowych jest spowodowane wypadaniem z użytkowania części ziem rolniczych, zwłaszcza w krajach lepiej rozwiniętych gospodarczo. Wiąże się to z przejmowaniem części użytków rolnych na cele nierolnicze (przemysł, miasta) i wyłączeniem z użytkowania gruntów marginalnych – niskoprodukcyjnych. Jeśli nawet areal użytków rolnych rośnie lub nie zmienia się, to może pogarszać się ich struktura,

ponieważ na cele nierolnicze są na ogół przejmowane grunty o najwyższej żyzności i produktywności. Wiąże się to z tym, że osadnictwo koncentruje się w miejscach o najlepszych warunkach do rozwoju rolnictwa (Kuciński K. 1999).

W ciągu najbliższego półwiecza świat powinien wytworzyć więcej produktów rolnych niż wyprodukowano w ciągu minionych 12 000 lat. Będzie to wymagało innej technologii i organizacji produkcji, a przede wszystkim ogromnych nakładów, zwłaszcza że tylko na 25% użytkowanych obecnie gruntów ornych nie trzeba stosować melioracji, zabiegów przeciwozyjnych i użyźniających. Zabiegów przeciwozyjnych wymaga 43% użytkowanych dziś gruntów ornych, a nawadniających – 28%. Nakłady na rolnicze zagospodarowanie każdego nowego hektara ziem wzrastają, ponieważ jego pozyskanie jest coraz trudniejsze. W ciągu 100 lat koszt ten wzrósł 20-25 razy, co sprawia, że znaczny areał zasobów glebowych ma jedynie charakter potencjalny i pozostaje poza progiem ekonomicznej opłacalności współczesnej gospodarki (Kuciński K. 1999).

Do gwałtownego nasilenia procesu degradacji zasobów glebowych przyczynia się postępujące wylesianie. Proces ten towarzyszy człowiekowi od niemal 8000 lat. W jego następstwie powierzchnia pierwotnego lasu skurczyła się o połowę. (Kuciński K. 1999). Tempo tego procesu ulega stałemu przyspieszaniu. W połowie XIX w. świat tracił rocznie około 20 000 km² lasów. Na początku XX w. powierzchnia wycinanych lasów zwiększyła się do 60 000 km² rocznie, natomiast w połowie obecnego stulecia, w dekadzie 1950-1960, tempo wylesiania świata przybrało wręcz zawrotne rozmiary. Co roku było wylesione ponad 150 000 km² (Houghton R. 1994), oznacza to, że codziennie wycinano ponad 410 km², czyli niemal 0,5 ha w ciągu każdej sekundy.

Wprawdzie w ostatnich latach obecnego stulecia tempo wycinania lasów nieco osłabło, ale i tak wynosi prawie 100 000 km². Proces wylesiania ma złagodzić zalesianie, ale odbywa się ono niestety na zbyt małą skalę. Warto zwrócić uwagę, że przy obecnym tempie wylesiania lasy tropikalne mogą zostać całkowicie wycięte w ciągu najbliższych 100 lat (Houghton R. 1994).

Z terenów uzyskanych w wyniku wycinania lasów tylko 27% zamieniono na grunty orne, 18% – na tereny pastwisk, natomiast 55% można traktować jako powierzchnię zdegradowaną i nie nadającą się do produkcji rolnej.

Mimo stałego postępu w dziedzinie ochrony środowiska wzrasta, niestety, zanieczyszczenie atmosfery ziemskiej. Jest to spowodowane czynnikami naturalnymi, przede wszystkim erupcjami wulkanicznymi oraz pożarami lasów, ale też ogromną rolę odgrywa działalność człowieka. Największym źródłem zanieczyszczeń są procesy spalania paliw mające na celu wytwarzanie energii elektrycznej, cieplnej i energii kinetycznej (transport). Szacuje się, że ponad 90% emisji dwutlenku siarki i tlenków azotu

oraz 70-80% emisji pyłów pochodzi z procesów spalania, w tym głównie spalania węgla kamiennego i brunatnego. Mimo wprowadzenia różnych ograniczeń tylko w krajach OECD emisja SO_2 ciągle wzrasta, od 10 957 mln t w 1980 r., 11 179 mln t w 1990 r. do 12 117 mln t w 1996 r. (GUS 1997).

Także stale rosnąca liczba samochodów przyczynia się do ogromnego wzrostu emisji tlenku węgla i węglowodorów. W ostatnich latach zwiększyła się także emisja gazów cieplarnianych. Przyjmuje się, że w ciągu ostatnich 100 lat spalanie paliw kopalnych spowodowało wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze ziemskiej o 10%. Ciągle rośnie także ilość metanu. Wzrost ilości gazów cieplarnianych ma bezpośrednie konsekwencje w globalnych zmianach klimatycznych. Średnia globalna temperatura powietrza wzrosła w latach 1880–1990 o 1°C . W ciągu ostatnich 20 lat podwoiła się ilość gazów freonowych w atmosferze, co znajduje swój wyraz w zmniejszaniu się warstwy ozonowej w stratosferze.

Do zwiększenia zanieczyszczenia atmosfery przyczyniają się także pożary lasu, których liczba stale wzrasta. W samej tylko Europie w 1987 r. liczba pożarów wynosiła około 40 000 i wzrosła do ponad 80 000 w 1996 r. W roku 1987 spłonęło nieco ponad 40 000 ha lasu, natomiast w 1996 około 84 000 ha lasu (Space Applications Institute 1999). Wydaje się, że kończący się rok będzie pod tym względem rekordowy, i to w skali światowej.

Bardzo zanieczyszczonym komponentem środowiska geograficznego jest również woda. Od dawna przestał to być problem lokalny i w coraz większym stopniu staje się on problemem globalnym. Wystarczy wspomnieć, że nie tylko rzeki czy jeziora, ale nawet całe morza są silnie zanieczyszczone wskutek gospodarczej działalności człowieka.

Ciągły wzrost liczby mieszkańców Ziemi, kurcząca się powierzchnia lasów, degradacja gruntów ornych przy wielce ograniczonym przyroście nowych ziem uprawnych, wypadanie znacznych obszarów z gospodarczego użytkowania (zamiana na nieużytki), wzrastające zanieczyszczenie środowiska (mimo wielu wysiłków zmierzających do powstrzymania tego procesu), duża liczba katastrof naturalnych (cyklony, ulewne deszcze, powódzie, erupcje wulkaniczne,) sprawiają, że konieczny staje się ciągły monitoring środowiska umożliwiający lepsze nim zarządzanie w skali regionów, krajów, a nawet kontynentów. Ponieważ wspomniane zjawiska i procesy mają coraz bardziej charakter globalny, stąd też do ich szeroko pojętego monitoringu potrzebne są odpowiednie narzędzia, spośród których najbardziej przydatne okazały się informacje dostarczane z wysokości orbitalnych.

Danymi pozyskiwanymi za pomocą satelitów już od wielu lat zasilane są globalne systemy informacji przestrzennej, co umożliwiła permanentne śledzenie zjawisk i procesów zachodzących na rozległych obszarach naszego globu. Rozwój technologii satelitarnej sprawia, że możliwe staje się rozszerzanie zakresu pozyskiwanych informacji i jej uszczegółowienie.

A zatem nie tylko globalne systemy informacji przestrzennej pozyskują ciągle nowe źródła zasilania danymi, gdyż dane te są obecnie na tyle dokładne i szczegółowe, że w wielu przypadkach wystarczają aż nadto do zasilania krajowych, regionalnych, a nawet lokalnych systemów informacji przestrzennej.

Warto przypomnieć, że w kwietniu 1960 r. został umieszczony na orbicie wokółziemskiej satelita meteorologiczny TIROS, który zapoczątkował obrazowanie globu ziemskiego w systemie operacyjnym. Od tamtego czasu wystrzelono ponad 8 000 różnego rodzaju satelitów, z których część była przeznaczona do obrazowania powierzchni Ziemi i dostarczania danych umożliwiających badanie środowiska metodami bezkontaktowymi. Z czasem satelity dostarczające tego rodzaju danych nazwano satelitami środowiskowymi. Pierwszym satelitą środowiskowym był amerykański satelita Landsat, którego misja rozpoczęła się w 1972 r. Dał on początek serii satelitów, z których już szósty znajduje się na orbicie. Na orbity były też wprowadzane inne satelity środowiskowe, niekiedy o bardzo wąsko określonych zadaniach. W chwili obecnej znacznie rozszerzył się zakres informacji o globie ziemskim pozyskiwanych z wysokości orbitalnych. Wiele satelitów pozyskuje dane, które nie dotyczą tradycyjnie pojmowanego środowiska, a dotyczą globu ziemskiego jako całościowego systemu. Stąd też zmieniono nazwę satelitów środowiskowych na satelity obserwacyjne Ziemi.

Agencje Aerokosmiczne zrzeszone w Międzynarodowym Komitecie Satelitów Obserwacyjnych Ziemi (CEOS – Committee of Earth Observation Satellites) planują w ciągu najbliższych 15 lat realizację ponad 70 misji satelitarnych. Warto dodać, że obecnie po orbitach wokółziemskich krąży około 45 satelitów dostarczających danych o obiektach, zjawiskach i procesach zachodzących na Ziemi. Ich spodziewany okres aktywności wynosi kilka, a nawet kilkanaście lat. Można zatem przyjąć, że do połowy drugiej dekady XXI w. będzie niemal 120 misji satelitarnych ukierunkowanych na pozyskiwanie danych o różnych aspektach globu ziemskiego (CEOS 1997).

Na pokładach satelitów planowanych do wprowadzenia na orbitę zostanie zainstalowanych ponad 200 różnego rodzaju urządzeń do pozyskiwania danych. Około 120 z nich to nowe, udoskonalone wersje istniejących urządzeń, a ponad 80 to zupełnie nowe konstrukcje. Większość tych urządzeń to radiometry obrazowe. Będą one zbierać dane, które zostaną wykorzystane w badaniach przede wszystkim atmosfery i oceanów, a także w badaniach kriosfery i lądów.

Radiometry obrazowe instalowane na satelitach już wprowadzanych na orbity i planowanych do wystrzelenia w najbliższych latach różnią się znacznie od dotychczasowych. Największa różnica dotyczy wielkości chwilowego pola widzenia skanera, czyli przestrzennej zdolności rozdzielczej zdjęć. Dotychczas operujące satelity środowiskowe wykonywały zdjęcia

o przestrzennej zdolności rozdzielczej rzędu 10-30 m. Nowe satelity już zostały wyposażone w skanery o rozdzielczości przestrzennej około 1 m w przypadku zdjęć panchromatycznych i około 4 m w przypadku zdjęć wielospektralnych. Przewiduje się, że niektóre satelity o wąsko zdefiniowanych zadaniach będą wyposażone w skanery wykonujące tylko zdjęcia monospektralne (panchromatyczne) o rozdzielczości nieco powyżej 0,5 m, a więc zbliżonej do rozdzielczości wieloskalowych zdjęć lotniczych. Nie jest jeszcze całkowicie jasna sprawa dystrybucji takich wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych i wymaga ona dopiero rozwiązania. Większość nowych skanerów obrazowych będzie wykonywać zdjęcia panchromatyczne o rozdzielczości przestrzennej 1-5 m.

Druga, nie mniej istotna różnica pomiędzy dotychczas stosowanymi radiometrami obrazowymi a nowymi to zwiększenie liczby kanałów, w których będą wykonywane zdjęcia wielospektralne. Obecnie największą rozdzielczością spektralną cechuje się skaner ETM+ umieszczony na Landsacie 7. Wykonuje on zdjęcia w siedmiu zakresach widma i w zakresie panchromatycznym. Tymczasem planuje się, że niektóre nowe skanery wielospektralne będą wykonywać zdjęcia w 10 zakresach widma (XSTAR – wspólny satelita Francji i Wielkiej Brytanii), 14 zakresach (skaner ASTER), a nawet 36 zakresach (skaner MODIS, oba umieszczone na amerykańskim satelicie TERRA). W 36 zakresach będzie wykonywać zdjęcia także satelita japoński ADEOS-II (Jonsson H. 2000.).

Zupełną nowością są skanery hiperspektralne. Są one przystosowane do wykonywania zdjęć w kilkudziesięciu, a nawet kilkuset kanałach. I tak na przykład amerykański satelita OrbView-4 będzie wyposażony w skaner rejestrujący promieniowanie elektromagnetyczne w 200 zakresach, inny satelita – NEMO – za pomocą skanera AVIRIS będzie rejestrował promieniowanie w 210, a skaner LAC satelity EO-1 aż w 256 zakresach (Environmental Remote Sensing Center 1999). Warto podkreślić, że zdjęcia wykonane za pomocą hiperspektralnych skanerów będą się także charakteryzowały bardzo dużą rozdzielczością przestrzenną. Większość zdjęć będzie miała rozdzielczość około 30 m lub nieco mniejszą, ale np. zdjęcia wykonane za pomocą skanera zainstalowanego na satelicie OrbView-4 będą miały rozdzielczość przestrzenną aż 8 m. Jednak już wiadomo, że zdjęcia o takiej rozdzielczości spektralnej i przestrzennej będą udostępniane komercyjnie dopiero po co najmniej trzykrotnym obniżeniu ich parametrów (Jonsson H. 2000.).

Większość nowych skanerów będzie przystosowana do wykonywania zdjęć w pokryciu stereoskopowym. Wprawdzie satelita środowiskowy SPOT zapoczątkował wykonywanie zdjęć stereoskopowych z dwóch różnych orbit już na początku lat 80., jednak nowe skanery, w odróżnieniu od SPOT-a, będą wykonywać zdjęcia stereoskopowe z tej samej orbity, obrazując ten sam teren raz pod kątem, a raz pionowo. Między wykonaniem obu zdjęć tworzących stereogram upłynie zatem kilkanaście sekund, a nie – jak w przypadku

SPOT-a – kilkadziesiąt minut, a najczęściej kilkanaście godzin lub nawet kilka dni.

Godny podkreślenia jest również fakt, że sensory większości skanerów będą oparte na liniijkach, a nawet mozaikach detektorów CCD. Zapewnia to większą niezawodność działania skanerów, a także znacznie lepszą kartometryczność wykonywanych zdjęć.

Znacznemu podniesieniu ulegnie także rozdzielczość radiometryczna zdjęć. Obecnie w przypadku większości zdjęć wykonywanych przez satelity środowiskowe rozdzielczość radiometryczna wynosi 8 bitów. Wiele nowych zdjęć zostanie zarejestrowanych w zapisie 10, 16, a nawet 24-bitowym. Fakt ten wpłynie na zwiększenie rozpiętości tonalnej zdjęć, co wpłynie na polepszenie czytelności obiektów odwzorowanych na zdjęciach.

Wreszcie warto wspomnieć, że wiele satelitów będzie wykonywało zdjęcia z dużą rozdzielczością czasową rzędu 2-3 dni. Pozwoli to na monitorowanie dynamiki zjawisk wielkoobszarowych i szybkozmiennych.

Mimo tak dużego rozwoju technologicznego w zakresie konstrukcji nowych urządzeń do wykonywania zdjęć z wysokości orbitalnych w dalszym ciągu pozostaje problem warunków atmosferycznych. Wszystkie wspomniane dotychczas skanery będą pracować w zakresie widma optycznego, a więc wykonanie zdjęć będzie uzależnione od zachmurzenia. Ten problem może zostać rozwiązany tylko poprzez wykorzystanie do wykonywania zdjęć widma mikrofalowego. Pozytywne rezultaty takiego rozwiązania dostarczyły satelity: ERS, JERS, Almaz, czy wreszcie Radarsat. W nadchodzącej dekadzie planuje się wprowadzenie na orbity wokółziemskie nowych satelitów pracujących w promieniowaniu mikrofalowym. Będą różniły się one od swych poprzedników nie tylko wykonywaniem zdjęć o większej przestrzennej zdolności rozdzielczej, ale też w zmiennej polaryzacji, różnym kącie „oświetlenia” terenu wiązką radarową oraz wykonywaniem zdjęć radarowych za pomocą wielopasmowych radiolokatorów obrazowych. Przyczyni się to niewątpliwie do znacznego wzrostu liczby informacji możliwych do pozyskania w mikrofalach, co powinno znacznie wzbogacić naszą wiedzę o wielu obiektach i zjawiskach zachodzących na powierzchni Ziemi.

Analizując przeznaczenie nowych skanerów obrazowych oraz radiometrów nieobrazowych należy zauważyć, że w nadchodzącej dekadzie szczególnym zainteresowaniem będą się cieszyć atmosfera i oceany. W ciągu 40 lat obrazowania Ziemi z kosmosu większość uwagi była poświęcona obszarom lądowym. Satelity środowiskowe wykonywały zdjęcia niemal wyłącznie lądów lub co najwyżej wód przybrzeżnych. Zainteresowanie tymi obszarami nie zmaleje w nadchodzących latach, czego dowodem jest dalszy ogromny rozwój wspomnianych skanerów obrazowych, ale w sensie poznawczym już niewiele można się spodziewać w tym przypadku po teledetekcji satelitarnej. Będzie ona pełniła rolę rutynowego

narzędzia dostarczania informacji, na pewno dokładniejszych i bardziej precyzyjnie zlokalizowanych, ale nie całkiem nowych lub wręcz niespodziewanych.

Zupełnie inaczej przedstawia się sprawa w przypadku badania atmosfery oraz mórz i oceanów. Mimo że satelity meteorologiczne zapoczątkowały zbieranie informacji z wysokości orbitalnych, to jednak ich rola przez wiele lat sprowadzała się głównie do dostarczania danych wykorzystywanych w sporządzaniu prognoz pogody oraz badaniu zmian zawartości ozonu w stratosferze ziemskiej. Inne zastosowania danych satelitarnych w badaniach atmosfery były właściwie incydentalne. Podobnie ma się sprawa z badaniami mórz i oceanów. Spośród wszystkich satelitów przeznaczonych do zbierania informacji o globie ziemskim tylko nieliczne były dotychczas zorientowane na dostarczanie informacji o środowisku wodnym. Wprawdzie były one źródłem wielu niekiedy wręcz szokujących informacji o oceanach, tym niemniej, biorąc pod uwagę rozległość tego środowiska, jest ich ciągle za mało. Tymczasem Ziemia jako kompleksowy system łączący w jedną całość atmosferę, hydrosferę, biosferę i kriosferę jest w dalszym ciągu niedostatecznie poznana. Niewystarczająco poznany jest wpływ wód oceanicznych na pogodę czy klimat wielu obszarów globu ziemskiego, a szczególnie mało znane jest współdziałanie atmosfery i oceanów w kształtowaniu tego klimatu i oddziaływanie na jego zmiany. Nie wiadomo jakie zmiany globalne może wywołać zwiększające się zanieczyszczenie górnych warstw troposfery i dolnej stratosfery. Trudno przewidywalne są także zmiany kształtu skorupy ziemskiej pod wpływem zmian klimatycznych i wywołanym przez nie topnieniu lodowców, a przede wszystkim lądolodów (Megie G., Readings C.J. 2000).

Dziś nie ma wątpliwości, że za pomocą satelitów uzyska się wiele danych, które będzie można wykorzystać w coraz doskonalszych modelach opisujących zjawiska zachodzące na globie ziemskim. Stąd w nadchodzącej dekadzie na orbitach wokółziemskich zostanie umieszczonych wiele satelitów, które będą badać mało znane cechy atmosfery lub te, które są trudne czy wręcz niemożliwe do badania innymi metodami. Podobnie przedstawia się sprawa z oceanami. Istotna cecha większości satelitów – synoptyczność „spojrzenia”, tak ważna w przypadku badania rozległych obszarów mórz i oceanów, zostanie uzupełniona znacznym rozszerzeniem dotychczasowego zakresu pozyskiwanych informacji.

Prócz wprowadzenia na orbity poszczególnych satelitów zostały powołane specjalne kompleksowe programy badawcze zarówno przez Europejską Agencję Kosmiczną – ESA (Megie G., Readings C.J. 2000), jak i Amerykańską Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej – NASA (NASA 2000). Programy te zorientowane są na pozyskanie maksymalnej liczby danych o globie ziemskim dostarczonych przez satelity i wykorzystaniu ich w wyjaśnieniu wielu zjawisk i procesów zachodzących na naszej planecie.

Tabela nr 1. Przeznaczenie instrumentów zainstalowanych na satelicie ENVISAT I

| Instrumenty → Zastosowania ↓ | ASAR | RA-2 | MERIS | MIPAS | GOMOS | SCIA MACHY | MWR | AATSR |
|---------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|---------------|-----|-------|
| Atmosfera | | | | | | | | |
| - zachmurzenie | | | ◆ | | | | | ◆ |
| - wilgotność | | | | | | | ◆ | |
| - radiacja | | | ◆ | | | | ◆ | |
| - temperatura | | | | ◆ | | ◆ | | |
| - gazy śladowe | | | | ◆ | ◆ | ◆ | | |
| - aerozole | | | ◆ | ◆ | ◆ | | | |
| Łądy | | | | | | | | |
| - temp. pow. | | | | | | | | ◆ |
| - roślinność | ◆ | | ◆ | | | | | ◆ |
| - rzeźba | ◆ | ◆ | | | | | | |
| Oceany | | | | | | | | |
| - kolor wody | | | ◆ | | | | | |
| - temp. pow. | | | | | | | | ◆ |
| - rzeźba pow. | | | | | | | | |
| - mętność | | | ◆ | | | | | |
| - charakter, fal | ◆ | ◆ | | | | | ◆ | |
| - pole wiatru | | ◆ | | | | | | |
| - kształt geoidy | | | | | | | | |
| Lody i śniegi | | | | | | | | |
| - zasięg | ◆ | | ◆ | | | | ◆ | |
| - pokrywa śnież. | ◆ | | ◆ | | | | | ◆ |
| - rzeźba | ◆ | | | | | | | |
| - temperatura | | | | | | | ◆ | |

ASAR – **A**dvanced **S**ynthetic **A**perture **R**adar – udoskonalony radiolokator z anteną syntetyczną. Radiolokator z anteną syntetyczną pracujący w paśmie C w trzech wariantach: obrazowym, szerokiego pokrycia i falowym.

RA-2 – **R**adar **A**ltimeter – wysokościomierz mikrofalowy. Dwuczęstotliwościowy wysokościomierz mikrofalowy (pracujący w pasmach Ku i S) zdolny do prowadzenia pomiarów nad każdą powierzchnią.

- MERIS** – **Medium Resolution Imaging Spektrometer** – spektrometr obrazowy średniej rozdzielczości. Nadirowo skierowany spektrometr typu wymiatającego pracujący w zakresie fal 400–1050 nm.
- MIPAS** – **Michelson Interferometr for Passive Atmospheric Sounding** – interferometr Michelsona do pasywnego analizowania atmosfery. Interferometr do obserwacji świetlnego kręgu Ziemi pracujący w zakresie średniej podczerwieni (4,15–14,60 μm).
- GOMOS** – **Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars** – urządzenie do monitorowania ozonu poprzez obserwację zasłonięcia gwiazd. Spektrometr optyczny przeznaczony do obserwacji świetlnego kręgu Ziemi pracujący w trzech zakresach widma: ultrafioletowym/widzialnym (250–625 nm) i w dwóch zakresach podczerwieni (756–773 i 926–952 nm).
- SCIAMACHY** – **SCanning Imaging Absorption spektroMeter for Atmospheric CHartographY** – skanujący radiometr obrazujący absorpcję promieniowania przeznaczony do kartowania atmosfery. Spektrometr optyczny skierowany nadirowo, a także obserwujący świetlny krąg Ziemi, pracujący w trzech zakresach promieniowania ultrafioletowego (240–405 nm), dwóch zakresach promieniowania widzialnego (0,4–0,81 μm) i trzech zakresach promieniowania podczerwonego (1,94 μm –2,38 μm).
- MWR** – **Microwave Radiometer** – radiometr mikrofalowy rejestrujący promieniowanie o częstotliwości 23,8 GHz (1,2 cm) oraz 36,6 GHz (0,8 cm).
- AATSR** – **Advanced Along Track Scanning Radiometer** – udoskonalony radiometr skanujący wzdłuż trajektorii lotu. Nadirowo skierowany radiometr rejestrujący promieniowanie o długości fali od 0,55 μm do 12,0 μm .

Wśród wielu satelitów planowanych do wystrzelenia w najbliższej przyszłości na specjalną uwagę zasługują dwa: ENVISAT – Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA 1997), oraz TERRA (EOS-AM 1) – NASA (NASA-GSFC 2000). Będą to właściwie satelity eksperymentalne – laboratoria badawcze – przeznaczone do pozyskiwania wielu różnego rodzaju danych. W tabeli 1 przedstawiono informacje o rodzajach urządzeń, które zostaną umieszczone na satelicie ENVISAT, wraz ze wskazaniem do czego będą wykorzystywane pozyskiwane dane.

Satelita ENVISAT zostanie umieszczony na orbicie wokółziemskiej w czerwcu 2001 r. Będzie to jeden z najbardziej wszechstronnych satelitów teledetekcyjnych w dotychczasowej historii badania Ziemi z kosmosu. Jego zadaniem będzie kontynuacja misji satelitów serii ERS (monitorowanie stref przybrzeżnych, mórz otwartych, lodów i procesów zachodzących na obszarach lądowych), udoskonalenie misji oceanicznych (poprzez obserwację komponentów biologicznych i koloru mórz), a także wniesienie znacznego wkładu do monitorowania procesów chemicznych zachodzących

w atmosferze w celu ich lepszego zrozumienia i modelowania. Będzie to satelita eksperymentalny, przeznaczony przede wszystkim do celów naukowych, ale dostarczone przez niego informacje będą też mogły być wykorzystane w różnych dziedzinach gospodarki.

Analizując obecny zakres informacji pozyskiwanych za pomocą satelitów oraz biorąc pod uwagę potencjalne możliwości planowanych do wystrzelenia satelitów można stwierdzić, że już w najbliższych latach będą dostępne zdjęcia o rozdzielczości przestrzennej dorównującej, a nawet przewyższającej rozdzielczość zdjęć lotniczych. Zdjęcia te będą wykonywane w sposób ciągły, co zapewni dostępność do najbardziej aktualnej informacji z każdego fragmentu powierzchni Ziemi. Planowane metody geometrycznej korekcji zdjęć sprawią, że będą one obrazowym materiałem informacyjnym o wysokich walorach kartometrycznych. Obszary posiadające numeryczny model rzeźby terenu mogą być odwzorowywane na takich zdjęciach w projekcji ortograficznej. A zatem produkt obrazowania satelitarnego będzie nosił niemal wszystkie cechy klasycznego produktu fotogrametrycznego, jakim jest ortofotomapa. Z kolei wysokorozdzielcze satelitarne zdjęcia wielkospektralne dostarczą informacji o różnych aspektach stanu środowiska, co umożliwi jego jakościową charakterystykę. Będzie to również informacja o najwyższej aktualności. Tego rodzaju informacje mogą zasilić bazy danych krajowych oraz lokalnych systemów informacji przestrzennej szybciej, sprawniej i – można mieć nadzieję – znacznie taniej niż jest to możliwe w przypadku tradycyjnych metod zbierania informacji.

LITERATURA

- [1] Berry J.B., Conkling E.C., Ray D.M. 1997.: *The Global Economy in Transition*. Upper Saddle River.
- [2] CEOS (Committee on Earth Observation Satellites). *Toward an Integrated Global Observing Strategy*. Yearbook, ESA, Smith System Engineering Ltd. UK 1997.
- [3] *ENVISAT-1. Mission and System Summary*. ESA, 1997.
- [4] Grzebisz W. 1998: *Człowiek i rolnictwo*. [w:] Rolnictwo i Leśnictwo. Wielka encyklopedia geografii świata. T. XI. Poznań, Kurpisz.
- [5] *Ochrona środowiska*. Informacje i Opracowania Statystyczne. Warszawa, GUS 1997.
- [6] Houghton R. 1994: *The Worldwide Extent of Land Use changes*. Bioscience Vol. 44.
- [7] *Environmental Remote Sensing Center*. Wisconsin University 1999 (<http://www.ersc.wisc.edu/ersc/Resources/EOSF.html>).
- [8] Jonsson H. 2000: *Satellite and sensor status*. Remote Sensing No. 31, Swedish Space Corporation.

- [9] Kaczmarek T. 1998: *Procesy i struktury demograficzne*. [w:] Wielka encyklopedia geografii świata. T. XII – Ludność Świata. Poznań, Kurpisz.
- [10] Kuciński K. 1999: *Czynniki produkcji*. [w:] Gospodarka współczesnego Świata. Wielka encyklopedia geografii świata. T. XVI. Poznań, Kurpisz.
- [11] Megie G., Readings C.J. 2000: *The Earth Explorer Missions – Current Status*. ESA, Earth Observation Quarterly No. 66.
- [12] *Earth Science Missions*. NASA 2000 (<http://www.earth.nasa.gov/missions/>).
- [13] *TERRA (EOSAM) Project Mission*. NASA-GSFC 2000 (<http://eos-am.gsfc.nasa.gov/index.html>).
- [14] *Annual Report. EUR Report 18987 EN*. Space Applications Institute, European Commission, Joint Research Centre 1999.