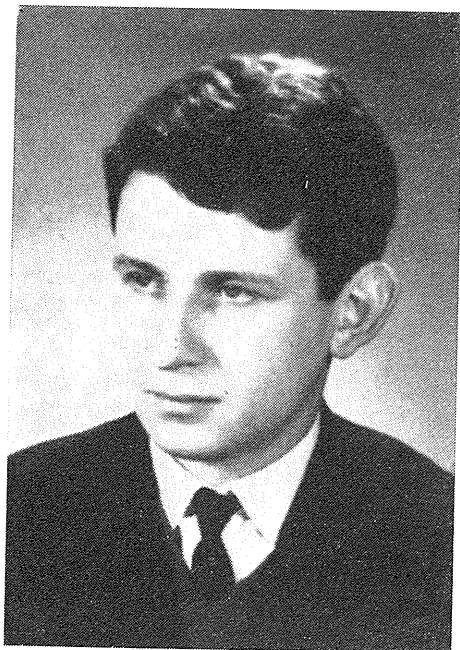


człowiek i nauka

RADA NAUKOWA ROCZNIKA „CZŁOWIEK I NAUKA”

**prof. dr K. Maślankiewicz
prof. dr W. Michajłow (przewodniczący)
prof. dr E. Olszewski
prof. dr A. Piekara
prof. dr K. Rowiński
prof. dr B. Suchodolski
prof. dr J. Szczepański
profesor J. Tymowski
prof. dr W. Zonn**

1973



JANUSZ B. ZIELIŃSKI (ur. 26 III 1935 r.) — geodeta i astronom, doktor nauk technicznych.

J. Zieliński jest pracownikiem naukowym Instytutu Geofizyki PAN, sekretarzem naukowym Komitetu do spraw Badań i Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej PAN, członkiem komisji „Geodezja Satelitarna” w ramach współpracy krajów socjalistycznych „Interkosmos”.

W latach 1957—1968, będąc pracownikiem naukowym Katedry Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej, brał udział w pracach obserwatorium w Józefosławiu nad wyznaczaniem czasu i obserwacjami sztucznych satelitów Ziemi.

Autor wielu prac teoretycznych z zakresu wykorzystania sztucznych satelitów do geodezji oraz projektów naukowych zastosowanych w międzynarodowych programach obserwacji sztucznych satelitów.

Sztuczne satelity w służbie człowieka

Wstęp

Mamy już za sobą okres fascynacji efektownymi wydarzeniami pionierskiego okresu podboju przestrzeni kosmicznej. Kolejne lądowanie na Księżycu budzi nie większą sensację niż np. wynik meczu piłkarskiego, zaś wiadomość o wystrzeleniu sztucznego satelity często nie zostaje w ogóle odnotowana przez prasę. Jednocześnie jednak coraz częściej zaczynamy korzystać z usług różnego rodzaju systemów satelitarnych, przeważnie nawet nie wiedząc o tym. Oznacza to, że przekroczony został pewien próg, przy którym budząca zaciekawienie nowość techniczna staje się narzędziem coraz bardziej sprawnym i coraz bardziej niezbędnym. Tak sytuacja rozwijała się w przypadku samochodu, samolotu, potem energii jądrowej i podobny proces obserwujemy w przypadku techniki kosmicznej.

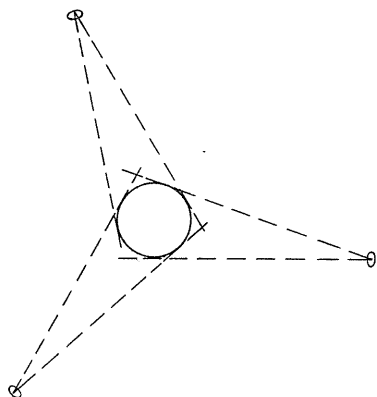
Chodzi o wykorzystanie sztucznych satelitów w kilku ważnych dziedzinach pokojowej działalności człowieka: meteorologii, łączności, geodezji, nawigacji, badania zasobów naturalnych i ochrony naturalnego środowiska. Celowo pomijam w tym wyliczeniu wkład techniki spacjiowej w badania naukowe, gdyż jest to bardzo szeroki, odrębny temat.

Meteorologia satelitarna omówiona jest obszernie w innym artykule niniejszego rocznika, zajmijmy się więc pozostałymi dziedzinami.

Łączność satelitarna

Pomysł utworzenia sieci stacjonarnych satelitów komunikacyjnych ogłoszony był po raz pierwszy w 1945 r. przez młodego angielskiego naukowca nazwiskiem Arthur Clarke. W czasopiśmie „Wireless World” opublikował on artykuł, proponujący umieszczenie radiowej lub telewizyjnej stacji przekaźnikowej na satelicie, którego orbita leży w płaszczyźnie równika, ale który znajduje się w takiej odległości od Ziemi, że jego okres obiegu wynosi 24 godziny, a więc jest równy obrotowi Ziemi dookoła osi. Dzięki temu jego położenie względem punktów na powierzchni Ziemi zmienia się bardzo nieznacznie. Wymagana odległość od środka Ziemi wynosi ok. 33 tys. km, a zatem satelita taki obejmuje swoim zasięgiem niemal 1/3 powierzchni Ziemi. Wystarczy trzy takie satelity na pokrycie ich zasięgiem całego zamieszkałego obszaru Ziemi, z wyjątkiem okolic biegunów północnego i południowego. Idea ta doczekała się realizacji w 1965 r., kiedy to został wystrzelony w USA pierwszy satelita komunikacyjny

„Early Bird”. Satelita ten był pierwszym z serii INTELSAT, tj. obiektów budowanych przez międzynarodowe konsorcjum o tej nazwie (4). „Early Bird” funkcjonował 18 miesięcy; służył przede wszystkim łączności telefonicznej, która miała do dyspozycji 240 kanałów. Został on zastąpiony przez satelity INTELSAT II, potem INTELSAT III, obecnie zaś wchodzi do służby czwarta generacja — INTELSAT Ten ostatni jest 12 razy większy niż „Early Bird” i posiada 6000 kanałów łączności oraz przewidziany



1. Rozmieszczenie satelitów stacjonarnych

okres pracy 7 lat. Obniżyło to koszt zainstalowania jednego łącza z 15 300 dolarów rocznie w pierwszym satelicie do 500 dolarów rocznie w ostatnim. W ten sposób łączność satelitarna stała się konkurencyjna w stosunku do łączności kablowej, będąc jednocześnie zdecydowanie lepszą technicznie i bardziej niezawodną od łączności radiowej na falach krótkich. Największy ruch panuje na trasie transatlantycznej gdzie równolegle działają obecnie dwa satelity INTELSATU, zaś wg danych z kwietnia 1971 r. — 1 łącza były wydierżawiane przez użytkowników na stałe. Na drugim miejscu znajduje się linia Ameryka Daleki Wschód, obsługiwana przez satelitę zawieszoną nad Pacyfikiem. Umieszczono również je przekaznik satelitarny nad Oceanem Indyjskim, łączący Daleki Wschód z rejonem Europa—Afryka. Satelity te zapewniają nie tylko łączność telefoniczną, ale również dalekopisową, a także umożliwiają transmisje telewizyjne.

Kilka słów warto poświęcić samej organizacji INTELSAT. Ma ona charakter międzynarodowy i grupuje ok. 70 państw. W krajach tych funkcjonuje ponad 50 naziemnych stacji nadawczo-odbiorczych, z czego wynika, że nie każdy kraj posiada własną stację. Nie jest to konieczne, gdyż można przy odpowiednim porozumieniu korzystać ze stacji znajdującej się w sąsiedztwie (koszt budowy stacji 3—5 mln dol.).

Organizacja lub też konsorcjum jest właścicielem tzw. sektora kosmicznego, tzn. satelitów i urządzeń kontrolujących. Usługi tego sektora wobec członków-użytkowników są płatne wg ustalonego systemu rozliczeń. Natomiast udział w konsorcjum i co się z tym wiąże — waga decydującego głosu — uzależnione są od wkładu kapitałowego, co praktycznie zapewnia majoryzację konsorcjum przez USA. Z tego też względu wiele państw, w tym kraje socjalistyczne, powstrzymują się od udziału w INTELSAT.

W czasie konferencji ONZ poświęconej wykorzystaniu przestrzeni kosmicznej, która odbyła się w Wiedniu w 1968 r., kraje socjalistyczne przedstawiły projekt systemu łączności INTERSPUTNIK. Projekt zakładał, że wszystkie państwa uczestniczące będą miały jednakowe prawa w organach decydujących. Spotkał się on ze znacznym zainteresowaniem. W listopadzie 1971 roku podpisano porozumienie o powołaniu organizacji INTERSPUTNIK, do której przystąpiły: Bułgaria, Czechosłowacja, Kuba, Mongolia, NRD, Polska, Rumunia, Węgry i ZSRR. Porozumienie to jest otwarte dla wszystkich zainteresowanych krajów. Przewiduje się, że system ten zacznie wkrótce funkcjonować.

Tymczasem w Związku Radzieckim istnieje lokalny system łączności, oparty na satelitach „Mołotowski”.
 68 (2). Ponieważ terytorium ZSRR sięga daleko na północ, satelity stacjonarne umieszczone w płaszczyźnie

nie równika nie stanowią najlepszego rozwiązania. Wybrano więc wariant orbity silnie wydłużonej, o apogeum 40 000 km nad półkulą północną, perigeum 500 km nad półkulą południową. Nachylenie orbity do płaszczyzny równika wynosi 65°, okres obiegu — 12 godzin. Tego rodzaju orbita zapewnia 15-godzinną łączność każdego dnia między skrajnymi punktami wschodniego i zachodniego krańca terytorium ZSRR. Charakterystyczną cechą techniczną tego systemu jest stosunkowa prostota i taniość stacji naziemnych, możliwa dzięki nadawaniu silnego sygnału (40 W w przypadku Mołnia 1) kierunkowymi antenami. Poziom techniczny przeprowadzanych transmisji telewizyjnych jest bardzo dobry.

Dalszy rozwój łączności satelitarnej będzie prawdopodobnie szedł w następujących kierunkach:

1. doskonalenia i wzrostu ilościowego systemów globalnych INTELSAT i INTERSPUTNIK,
2. tworzenia dalszych systemów wewnątrz krajowych i regionalnych,
3. tworzenia systemów wyspecjalizowanych dla określonych zadań.

Systemami wewnątrz krajowymi zainteresowane są kraje o dużych terytoriach, a więc w pierwszym rzędzie ZSRR, a następnie USA, Kanada, Brazylia, Indonezja, Indie. Projekt kanadyjski np. przewiduje wykorzystanie satelity stacjonarnego i satelitów o orbitach typu Mołnia. Ma on za zadanie zabezpieczenie potrzeb wynikających z nasilającego się ruchu telekomunikacyjnego między wybrzeżem wschodnim a zachodnim oraz umożliwienie łączności telefonicznej i transmisji telewizyjnych do rejonów dalekiej północy.

Przykładem systemu regionalnego jest budowany wspólnie przez Francję i NRF system Symphonie. Ma on wykorzystać satelitę stacjonarnego, umieszczonego nad punktem o długości geograficznej 15° na zachód od Greenwich. Dzięki antenom kierunkowym skupione wiązki promieniowania mogą być kierowane na wybrane obszary Europy Zachodniej, Afryki, Ameryki Środkowej i Północnej lub wysp na Atlantyku. Umożliwi to zastosowanie stacji naziemnych znacznie mniejszych i tańszych niż te, które wykorzystuje INTELSAT. System wykorzystany zostanie do łączności telefonicznej, radiowej i do transmisji telewizyjnych.

Biorąc pod uwagę systemy wyspecjalizowane, należy podkreślić dwa ich zastosowania. Pierwsze, to zbieranie danych; omówimy je bliżej w dalszej części, dotyczącej ochrony środowiska. Drugie, o bardzo doniosłym znaczeniu, to zastosowanie satelitów do powszechnego nauczania w krajach rozwijających się.

Dla uświadomienia sobie wagi zagadnienia przypomnijmy, że liczbę analfabetów na świecie ocenia się dziś na około 800 mln, tj. 100 mln więcej, niż 20 lat temu. W wielu społeczeństwach odczuwany jest ostry głód podstawowych umiejętności rolniczych, rzemieślniczych i technicznych. Rosnące wymagania współczesnego życia w zakresie wykształcenia zderzają się jednak z dalece niedostateczną wydolnością istniejącego, tradycyjnego systemu kształcenia. Sprzeczność ta zmusza do poszukiwania bardziej radykalnych, bardziej efektywnych metod, dających nadzieję na wyjście z impasu. W tej sytuacji uwaga koncentruje się na nowoczesnych środkach masowego przekazu, jakimi są radio i telewizja. Mogą one dotrzeć do najdalszych zakątków i mogą być odbierane także przez ludzi nie znających pisma.

Krajem, który szczególnie odczuwa te trudności, są Indie. Na prośbę rządu indyjskiego ekipa ekspertów UNESCO przeprowadziła w 1967 r. studia nad możliwością wprowadzenia szerokiego programu nauczania przy użyciu telewizji (6). Zespół ten przeprowadził porównanie trzech sposobów powszechnego udostępnienia telewizji na terenie całego kraju, biorąc pod uwagę koszty, czas realizacji i możliwość objęcia zasięgiem całego terytorium państwa:

1. System oparty na wykorzystaniu samolotów jako przekaźników telewizyjnych (jeden samolot na pułapie 7500 m mógłby objąć obszar o średnicy około 700 km);
2. Naziemna sieć stacji, używających połączeń na falach ultrakrótkich;
3. System satelitarny, wykorzystujący satelitę stacjonarnego.

System oparty na wykorzystaniu samolotów odznaczał się wysokimi kosztami eksploatacji, wymagał przy tym ciągłego importu samolotów i urządzeń obsługujących. System stacji naziemnych cechował się natomiast powolnością rozbudowy — do 1981 r. zdołałby objąć jedynie 25% ludności.

W tej sytuacji skupiono uwagę na systemie satelitarnym. Przyjęto rozwiązanie techniczne polegające na tym, że satelita stacjonarny umieszczony zostanie nad Oceanem Indyjskim. Natomiast na terenie kraju zorganizowana zostanie sieć „szkół telewizyjnych” wyposażonych w odbiorniki odbierające sygnał bezpośrednio z satelity. Będą to właściwie mikrostacje odbiorcze. Ich cena ma wynosić poniżej 500 zł. Punktów takich zostanie założonych ok. 560 tys. W skupiskach miejskich, gdzie funkcjonuje już dość gęsta sieć telewizyjna, sygnał z satelity będzie odbierany i retransmitowany przez normalną stację. W początkowym okresie program nauczania skupiać się będzie na przedmiotach praktycznych, uprawa zbóż, stosowanie środków ochrony roślin, planowanie rodziny. W dalszym etapie system telewizyjny wykorzystywany będzie do wzmocnienia i unowocześnienia szkolnictwa powszechnego.

Projekt indyjski ma być realizowany począwszy od 1974 r. Jego wyniki oczekiwane są z wielkim zainteresowaniem przez inne kraje, jak Brazylia, Pakistan, Indonezja, borykające się z podobnymi problemami.

Geodezja satelitarna

Najogólniej mówiąc — geodezja jest dyscypliną, której zadaniem jest określenie kształtu i wymiarów Ziemi, a więc dokonanie jej opisu ilościowego. Formą najbardziej powszechną tego opisu są mapy, może to być jednak także zbiór liczb będących wartościami określonych parametrów lub współrzędnych punktów na powierzchni Ziemi. Ważne jest, aby zarówno mapy, jak i współrzędne odnoszone były do tego samego układu odniesienia, inaczej bowiem otrzymany obraz będzie fałszywy. Przypuśćmy przykład, że chcemy obliczyć odległość między dwoma punktami, z których jeden znajduje się w Polsce, drugi w Australii. Zadania tego nie rozwiążemy, jeśli nie będziemy znali współrzędnych obydwu punktów w tym samym układzie współrzędnych.

Geodezja tradycyjna w sposób ścisły tego zadania rozwiązać nie była w stanie. Pomiary globalne realizowała ona metodą poruszania się po powierzchni Ziemi mikroskopijnymi — w porównaniu z całym globem — kroczkami. Z wielkim mozołem tworzone sieci triangulacyjne obejmowały wprawdzie z czasem znaczne obszary, niekiedy całych państw, zatrzymywały się jednak na brzegach oceanów, których nie można było przekroczyć. Także trudno dostępne obszary lądowe, jak pustynie, wysokie góry, tundra — uniemożliwiały jednolite pokrycie kontynentów siecią geodezyjną. W ten sposób uzyskiwano dokładne mapy jedynie fragmentów powierzchni Ziemi, np. Europy lub Ameryki Północnej.

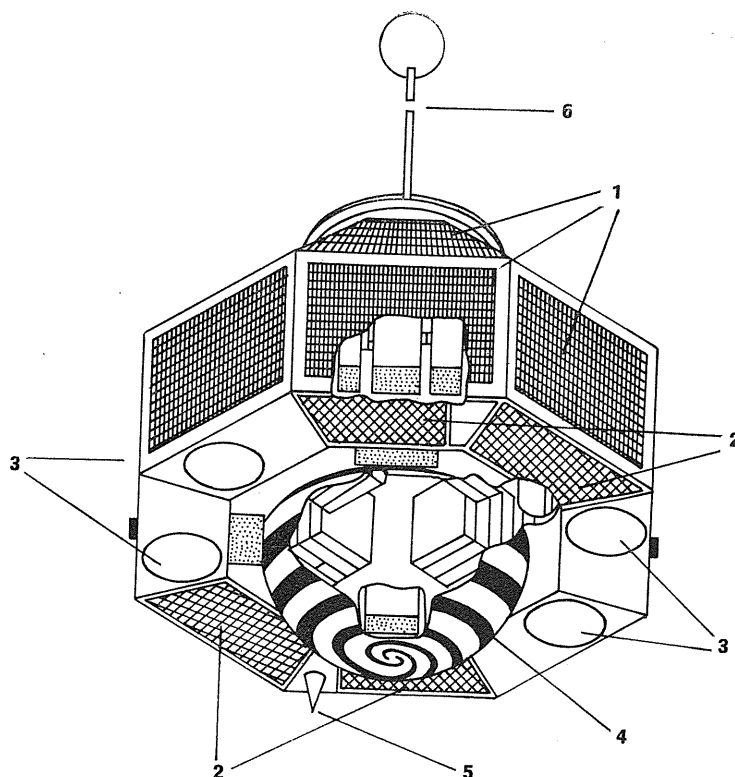
Pojawienie się sztucznych satelitów zmieniło sytuację w sposób istotny. Możliwość obserwowania obiektu na wysokości kilkuset kilometrów pozwoliła budować sieci o wymiarach globalnych — sieci, w których odległości między sąsiednimi punktami są rzędu setek, a nawet tysięcy kilometrów. Możliwe stało się przekroczenie oceanów i połączenie różnych systemów krajowych i regionalnych w jeden system światowy.

Chcąc osiągnąć ten cel należało w pierwszym rzędzie wynaleźć odpowiednie metody obserwacyjne. Do wyznaczenia pozycji satelity w przestrzeni, w określonym momencie, można mierzyć następujące wielkości: kierunek od obserwatora do obiektu, odległość oraz prędkość radialną, czyli prędkość zbliżania się bądź oddalania obiektu od obserwatora.

Do wyznaczenia kierunku najdokładniejsza i najpraktyczniejsza okazała się metoda fotograficzna. Polega ona na fotografowaniu satelity poruszającego się na tle gwiazd. Jednocześnie notowany jest moment wykonania zdjęcia. Ponieważ położenia gwiazd znane są dokładnie i podane są w odpowiednich

2. Satelita geodezyjny Geos A

- 1 — baterie słoneczne
- 2 — odbijacze laserowe
- 3 — lampy błyskowe
- 4 — antena spiralna izotropowa emitująca ciągły sygnał do obserwacji Dopplerowskich
- 5 — antena odzewu systemu radarowego
- 6 — przeciwwaga umieszczona na wysuniętym pręcie, zapewniająca stabilizację satelity względem pola grawitacyjnego



katalogach, wymierzając kliszę, na której znajdują się obrazy gwiazd i satelity, możemy wyznaczyć kierunek, jaki był między obserwatorem a satelitą w zarejestrowanym momencie.

Oczywiście obserwacje takie możliwe są tylko w nocy — przy dobrej pogodzie albo kiedy satelita jest widoczny, tj. oświetlony przez Słońce, lub też kiedy emituje sam błyski świetlne. Najlepsze ze stosowanych kamer to amerykańskie Baker-Nunn i radzieckie AFU-75.

Pomiaru odległości od satelity dokonujemy dalmierzem laserowym. Urządzenie to działa na zasadzie pomiaru interwału czasu upływającego od momentu wysłania impulsu świetlnego do momentu odbioru tego impulsu powracającego po odbiciu od satelity. Satelita musi być przy tym wyposażony w specjalne zwierciadła, zaś aparatura naziemna musi mieć niezwykle precyzyjny mechanizm naprowadzania, umożliwiający trafienie wąską wiązką promieni w niewielki obiekt pędzący z szybkością ok. 7 km/sek w odległości paru tysięcy kilometrów. Technika ta rozwinęła się stosunkowo niedawno, przy czym pionierem była tu Francja. Obecnie stosowane lasery dają dokładność pomiaru rzędu 15 cm, przy odległościach 1000—3000 km.

Obserwacje radiowe wykorzystują zwykle efekt Dopplera, zachodzący przy odbiorze sygnału radiowego emitowanego z satelity. Obserwowana częstotliwość zmienia się w funkcji prędkości radialnej obiektu względem obserwatora. Znając częstotliwość podstawową nadajnika oraz pomierzoną częstotliwość w miejscu obserwacji można określić moment największego zbliżenia oraz odległość do satelity w tym momencie.

Pierwszym satelitą o przeznaczeniu wyłącznie geodezyjnym był amerykański ANNA 1B wystrzelony w 1962 r. Był on wyposażony w zespół lamp błyskowych, które zapalały się na komendę z Ziemi. Dzięki temu można było prowadzić obserwacje niezależnie od warunków oświetlenia satelity przez Słońce,

a także zapewnić dokładną jednoczesność obserwacji z różnych punktów. Następna generacja satelitów geodezyjnych to Geos A (1965) i Geos B (1968), które, oprócz lamp, miały także odbijacze laserowe. Każdy z tych satelitów miał ponadto na pokładzie kilka systemów elektronicznych umożliwiających obserwacje radiowe.

Ważną rolę odegrały również satelity balonowe, nie posiadające żadnej aparatury, a składające się wyłącznie z powłoki wypełnionej początkowo gazem. Powłoki te pokrywane były metaliczną substancją; dzięki czemu, jak również dzięki rozmiarom (średnica od 15 do 30 m) obiekty te były bardzo jasne i do brzo widoczne na niebie. Można je było obserwować nawet stosunkowo słabymi kamerami, toteż obsługowały je dziesiątki stacji na wszystkich kontynentach. Były to satelity Echo 1 i Echo 2 oraz Explore 19 i Pageos. Te dwa ostatnie utrzymują się jeszcze do chwili obecnej na swoich orbitach.

Posługując się tymi metodami geodezja satelitarna osiągnęła już szereg wyników o znaczeniu praktycznym. Przede wszystkim poprawiono wartości parametrów definiujących elipsoidę ziemską, tj. powierzchnię będącą matematycznym przybliżeniem rzeczywistej powierzchni Ziemi i stanowiącą podstawę dla wszelkich opracowań kartograficznych. Obecnie przyjęte wartości wynoszą: wielka półka (promień Ziemi na równiku) — 6 378 160 m
spłaszczenie — $1/298,25$

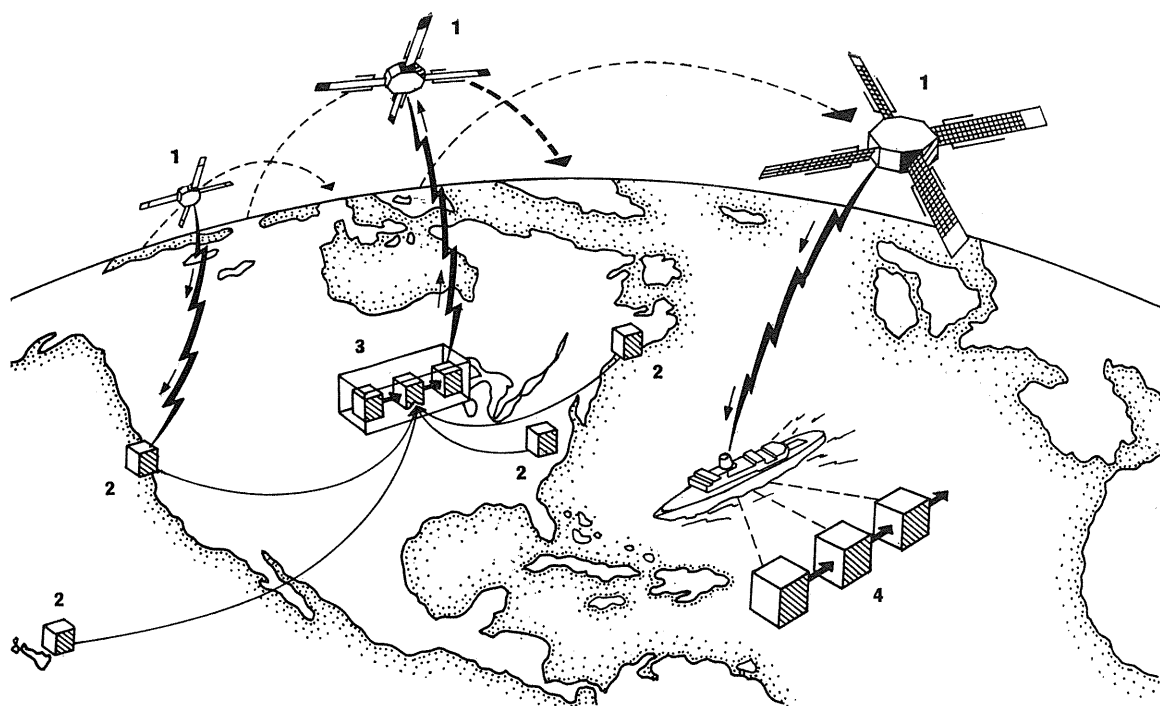
Ustanowiono również podstawową sieć punktów rozmieszczonych dość równomiernie na całej Ziemi dla której zostały określone współrzędne w jednolitym układzie. Początek tego układu związany jest ze środkiem masy Ziemi, a oś z osią obrotu Ziemi (układ geocentryczny). Sieć powyższa umożliwia wzajemne powiązanie odrębnych układów geodezyjnych.

Ponadto dokonano kilku wyznaczeń o charakterze regionalnym. Jako przykład wymienić można operację francuską RCP, obejmującą rejon Morza Śródziemnego. Po raz pierwszy zastosowano wówczas laser i francuskie satelity Diadem. Wyznaczono wzajemne położenie punktów po obu stronach basenu, co umożliwiło powiązanie europejskiej i afrykańskiej sieci triangulacyjnej. Innym przykładem może być dalekowschodni program radziecki, w wyniku którego dokonano nawiązania stacji na Sachalinie i Wyspach Kurylskich do sieci kontynentalnej.

Dalszy rozwój geodezji satelitarnej, opierający się na ciągłym podnoszeniu dokładności obserwacji zmierzają do zagęszczenia sieci światowej oraz do rozszerzania jej drogą pomiarów oceanograficznych. Te ostatnie związane są z rozwojem nowej techniki, nazwanej altimetria. Polega ona na stałym pomiarze radarowym wysokości satelity nad daną powierzchnią. Jeżeli będziemy znali dokładnie orbitę satelity — a obecnie jego położenie w przestrzeni można określić z dokładnością do ok. 5 m — będziemy mogli dokładnie wyznaczyć kształt powierzchni wód na naszej planecie. (Nie przewiduje się pomiarów nad lądami z powodu dużego współczynnika pochłaniania i rozpraszania). Kształt tej powierzchni zależy od wielu czynników: pola grawitacyjnego, prądów morskich, zasolenia, wiatrów, ciśnienia barycznego i in. Analiza zebranego materiału pozwoli znakomicie rozszerzyć naszą znajomość środowiska morskiego.

Nawigacja

Jedną z cech charakterystycznych bieżącego ćwierćwiecza jest eksplozywny rozwój komunikacji i transportu różnego typu. Sam tylko transport lotniczy przewiózł w 1971 r. ok. 300 mln pasażerów, co stanowi prawie jedną dziesiątą ogólnej liczby mieszkańców całej Ziemi. Dla sprostania rosnącym wymaganiom konieczne jest nie tylko rozbudowywanie i ulepszanie środków przewozu, ale również sposobów kontroli i kierowania potęgującym się ruchem na szlakach międzynarodowych. Chodzi o usprawnienia idące w następujących kierunkach:



3. Schemat funkcjonowania systemu nawigacyjnego „Transit”

- 1 — satelita w różnych punktach orbity
- 2 — naziemne stacje obserwacyjne prowadzące systematyczny odbiór sygnałów radiowych nadawanych z satelity
- 3 — ośrodek kontrolny, zbierający dane ze stacji naziemnych, obliczający elementy orbity i przekazujący je do pamięci satelity
- 4 — stacja odbiorcza na pokładzie statku — odbiera sygnał, przetwarza dane, oblicza pozycję statku

- a) szybkiego i dokładnego określania pozycji własnej na pokładzie poruszającego się pojazdu (statku, samolotu),
- b) stałego śledzenia pozycji przez ośrodek kontrolny,
- c) stałej i niezawodnej łączności między ośrodkiem kontrolnym, a pojazdem,
- d) ostrzegania o zagrożeniach powstałych bądź z przyczyn naturalnych (burze, mgły, góry lodowe itp.), bądź technicznych (awarie).

Zrealizowanie tych usprawnień wiąże się z zastosowaniem sztucznych satelitów.

Pierwszy na dużą skalę satelitarny system nawigacji morskiej p.n. „Transit” powstał na początku lat sześćdziesiątych (7). Początkowo był on przeznaczony tylko do celów wojskowych, ale obecnie jest w pełni dostępny dla statków cywilnych, handlowych czy rybackich. Opiera się na satelitach poruszających się po orbitach prawie kołowych, o dużym kącie nachylenia do płaszczyzny równika, na wysokości 800—1200 km nad powierzchnią Ziemi. System działa na zasadzie wykorzystania efektu Dopplera. Obserwator na statku rejestruje sygnał radiowy emitowany przez satelitę i na podstawie analizy krzywej zmiany częstotliwości określa moment największego zbliżenia satelity do statku oraz odległość właściwą kilku różnym momentom. Jednocześnie satelita transmituje dane określające jego pozycję w funkcji czasu. Wobec tego na mapie można nanieść punkty odpowiadające kolejnym położeniom satelity i wykreślić krzywe równych odległości. Przecięcie się tych krzywych wyznaczy pozycję statku. Proces ten może być wykonany automatycznie, jeżeli na statku znajduje się odpowiednie urządzenie przeliczające.

Do funkcjonowania systemu konieczna jest naziemna sieć stacji obserwacyjnych i ośrodek kontrolny, które systematycznie wyznaczają orbitę satelity. Na tej podstawie określa się bieżące pozycje satelity, które przesyłane są do znajdującej się na pokładzie pamięci magnetycznej celem retransmisji.

Prace nad uruchomieniem systemu „Transit” trwały kilka lat. Pierwszy satelita serii „Transit” znalazł się na orbicie w 1960 r., ale pełną sprawność operacyjną system ten osiągnął dopiero w 1964 r. Uzyskiwane dokładności pozycji są rzędu 0,5—0,1 mili morskiej, zależnie od jakości aparatury odbiorczej na statku.

Obecnie trwają intensywne prace nad utworzeniem systemu nawigacji lotniczej. Szczególnie krytyczna sytuacja wytworzyła się na trasie transatlantycznej, gdzie natężenie ruchu wymaga zmodyfikowania istniejących przepisów, opartych na naziemnych środkach kontroli. Rozpracowuje się dwa warianty: zastosowania satelitów geostacjonarnych jako nadajników i przekaźników informacji nawigacyjnej i dodatkowej, oraz zastosowania szeregu platform zakotwiczonych na pełnym morzu, które kontrolowałyby samolot i które łączność ze sobą i z lądem miałyby zabezpieczoną przez satelitę. Ten ostatni, umieszczony na orbicie stacjonarnej, pełniłby rolę satelity komunikacyjnego, obsługującego naziemny system nawigacyjny. Przewiduje się umieszczenie trzech platform oceanicznych wzdłuż linii przecinającej Atlantyk. Zapewniłyby one automatyczną kontrolę i łączność w korytarzu o szerokości ok. 150 mln m i wysokości do 10 000 m. Oblicza się, że jeżeli obecne przepisy bezpieczeństwa, ograniczające gęstość ruchu w sposób odpowiedni do obecnego systemu kontroli, będą mogły być zmienione w kierunku większej tolerancji o współczynnik 0,3, pozwoli to zamortyzować nowy system w ciągu dwóch lat.

Badanie zasobów Ziemi

Ten nowy, obiecujący kierunek zastosowania sztucznych satelitów związany jest z techniką znaną w terminologii angielskiej jako „remote sensing”. Przełożyć to można jako „zdalna systematyczna obserwacja”, a z braku lepszego terminu polskiego tu używać będziemy określenia „zdalne sensorowanie”. Chodzi więc o wykorzystanie różnych sensorów, notujących zmiany rozmaitych, interesujących nas parametrów. Najczęściej stosowanym sensorem jest kamera fotograficzna lub telewizyjna, fotografująca sytuację znajdującą się pod satelitą. W ten sposób prowadzi się np. obserwacje zachmurzenia z satelitów meteorologicznych.

Zdalne sensorowanie polega na możliwości detekcji promieniowania elektromagnetycznego, wysyłanego przez dany obiekt (5). Każda rzecz na powierzchni Ziemi wysyła bądź odbija energię pod postacią fal elektromagnetycznych. Najbardziej wyczuwalną formą tej energii jest światło widzialne. Nasze oczy są w stanie zauważyć, a więc zdalnie sensorować, obecność jakiegoś obiektu i umożliwiają zidentyfikowanie go, ponieważ obiekt ten emituje lub odbija fale świetlne, które są formą energii elektromagnetycznej. Jesteśmy w stanie zidentyfikować i zinterpretować to, co widzimy, gdyż nasze oczy tworzą obraz obiektu. Kształt obiektu, jego barwa i inne spostrzegane cechy informują nas, czym on jest. Niemal każdy obiekt promieniuje i odbija sobie tylko właściwą kombinację barw, czyli częstotliwości fal elektromagnetycznych. Pozwala to na jednoznaczną identyfikację obiektu, a także materiału, z jakiego jest on zbudowany.

Promieniowanie elektromagnetyczne może zachodzić w bardzo szerokim zakresie długości fal (częstotliwości). Poza światłem widzialnym, które właściwie stanowi niewielką część całkowitego widma, mamy promieniowanie ultrafioletowe, podczerwone, mikrofalowe, radiowe itd., o długościach fal zarówno krótszych, jak i dłuższych niż te, które są spostrzegane przez oko ludzkie. Toteż sensory sztuczne mogą zebrać znacznie więcej informacji, aniżeli sensor naturalny, jakim jest oko.

Kamery fotograficzne i telewizyjne stanowią dość bliskie naśladownictwo oka. Radiometr jest urządzeniem, które mierzy ilość energii elektromagnetycznej, dochodzącej z określonego rejonu. Radiometr

czuły na szereg różnych częstotliwości, nazywany spektrometrem, może mierzyć ilość energii wypromieniowanej w różnych długościach fal. Jeżeli przesuwając radiometrem lub spektrometrem, który każdorazowo obserwuje tylko jeden kierunek, po całym obszarze, jaki chcemy zbadać, oraz jeśli notować systematycznie jego wskazania, można skonstruować obraz tego obszaru. Takie urządzenie nazywane jest radiometrem lub spektrometrem skanującym. Stosowanie szerokiego zakresu częstotliwości przynosi cały szereg korzyści. Na przykład niektóre cechy przedmiotu widoczne są wyraźnie w jednej częstotliwości, zaś w innej mogą być niewidoczne. Porównywanie obrazów wykonanych w różnych pasmach częstotliwości umożliwia rozróżnienie cech i zjawisk niedostrzegalnych w pasmie światła widzialnego. Obrazy otrzymane w różnych długościach fal mogą być ze sobą kombinowane w ten sposób, aby otrzymać obraz optymalny, zawierający maksimum informacji przydatnych do analizy.

Można też w ten sposób otrzymywać informacje zgoła innego rodzaju. Promieniowanie podczerwone np. związane jest z emisją ciepła, a więc informuje o temperaturze obiektu. Ponieważ wszystkie materiały emitują promieniowanie cieplne różnej intensywności, temperatura może stanowić bardzo istotny parametr przy różnych badaniach, jak obserwacja aktywności wulkanów, prądów morskich lub różnego rodzaju zanieczyszczeń. Wreszcie fale o nieco większej długości, jak np. mikrofałe, nie są zatrzymywane przez chmury, mogą być one również, podobnie jak promieniowanie podczerwone, obserwowane w nocy. Dzięki temu mamy możliwość dokonywania obserwacji ciągłej niezależnie od pory doby i od pogody.

Jak już wspomniano, każdy obiekt posiada swoją charakterystykę emisji, którą można nazwać wizytówką danego obiektu. Jednakże charakterystyka ta zmienia się pod wpływem zmian oświetlenia, temperatury lub innych czynników nie wpływających zasadniczo na badany obiekt. Jego wizytówka zatem będzie zmienna w czasie. Dodatkowe trudności wynikną z faktu przechodzenia promieni przez atmosferę ziemską, która absorbuje, rozprasza i załamuje je w różnym stopniu zależnym od częstotliwości. Wynika z tego, że dla zastosowania zdalnego sensorowania konieczne są najpierw szerokie studia nad charakterystycznymi wizytówkami badanych zjawisk i obiektów.

Można wymienić następujące rodzaje sensorów, których opracowanie techniczne jest wystarczająco zaawansowane do zastosowania w najbliższym czasie:

- a) kamery fotograficzne,
- b) układy telewizyjne,
- c) spektrometry skanujące,
- d) urządzenia skanujące w zakresie promieniowania cieplnego,
- e) systemy radarowe dające obrazy,
- f) radiometry mikrofalowe.

Oczekuje się, że technika „remote sensing” znajdzie zastosowanie w następujących dziedzinach działalności gospodarczej człowieka:

- a) rolnictwo i leśnictwo,
- b) poszukiwania geologiczne,
- c) oceanografia,
- d) hydrologia,
- e) rybołówstwo.

W dziedzinie rolnictwa i leśnictwa technika ta może być zastosowana do śledzenia przebiegu cyklu biologicznego, ze zwróceniem uwagi na odchylenia od przebiegu normalnego. Dla właściwego planowania upraw, przewidywania zbiorów, ewentualnej interwencji w razie potrzeby — interesujące są poniższe dane:

- a) określenie obszaru zajętego pod daną kulturę,
- b) wykrywanie niesprzyjających okoliczności, jak susza, atak szkodników, choroby roślinne, pożary lasów,

c) ocena stanu upraw,

d) określenie charakterystyk gleby, jej składu chemicznego, wilgotności, zasięgu różnego rodzaju gleb.

W krajach wysoko rozwiniętych o niewielkim terytorium dane powyższe zbierane są w sposób tradycyjny. W przypadku krajów nierozwiniętych, zajmujących duże obszary, danych takich nie da się zebrać bez pomocy satelitarne go zdalnego sensorowania.

Geologia posługiwała się dotąd metodami polegającymi na badaniach lokalnych i ekstrapolowaniu ich na skalę regionalną lub globalną. Zastosowanie satelitów umożliwia tworzenie foto-map obejmujących całe kontynenty wraz z otaczającymi szelfami. Mapy takie pozwalają na studiowanie rozległych tworów geologicznych, jak np. łańcuchów górskich z ich różnymi elementami strukturalnymi na skalę regionalną lub globalną. Pozwalają także na rozpoznawanie i ocenianie z przestrzeni szybko i z dużą precyzją zmian zachodzących na powierzchni Ziemi w miarę upływu czasu, a mianowicie erupcji wulkanów, trzęsień Ziemi, obsunięć gór, powodzi i innych kataklizmów wraz z ich efektami. System satelitarny umożliwia systematyczne obserwacje takich procesów o charakterze dynamicznym, jak zmiany linii brzegowych, deformacje ujść rzek, tworzenie się delt, wydm, wzrost lub zanikanie atoli itp. Dla poszukiwań geologicznych niemałe znaczenie mieć będzie uzyskanie map przeglądowych terenów, nie opracowanych pod względem kartograficznym.

Oceany — rezerwar pożywienia i tlenu dla całej planety — stanowią przedmiot coraz to szerszych i bardziej szczegółowych badań. Niektóre z nich, o ważnym znaczeniu praktycznym, otrzymają silny impuls po wejściu w życie zdalnego sensorowania. Wymienić tu można badanie temperatury powierzchni morza, stanu morza i fal, prądów oceanicznych, ruchu lodów, zjawisk biologicznych itp. Te ostatnie łączą się blisko z problemami rybołówstwa.

Ocenia się, że dla zaspokojenia światowych potrzeb żywnościowych globalna wielkość połowów wzrosnąć powinna do 2000 r. o czynnik 2, lub nawet 4. Ażeby to osiągnąć, potrzebne są następujące wiadomości:

a) dla przewidywań długoterminowych — ocena możliwości połowowych w różnych akwenach bez naruszania równowagi biologicznej i zmniejszania zasobów;

b) dla potrzeb bieżących — planowanie i przeprowadzanie połowów w sposób najbardziej efektywny. Istniejące empiryczne modele rybności wiążą częstotliwość i obfitość pojawiania się ryb z cechami fizykalnymi wody, jak temperatura, zasolenie, barwa — a więc możliwymi do obserwacji metodą zdalnego sensorowania. Stąd przewidywania poważnych korzyści, jakie ta technika przyniesie rybołówstwu.

Jeszcze kilka słów na temat hydrologii. Sprawa właściwego gospodarowania zasobami wodnymi staje się coraz bardziej paląca we wszystkich krajach uprzemysłowionych. Ale także kraje bez rozbudowanego przemysłu cierpią albo na brak, albo nadmiar wody. Toteż możliwość wykorzystania tu zdalnego sensorowania budzi wiele nadziei. Wymienić można w powyższej dziedzinie następujące główne problemy:

1. Wyjaśnienia w kategoriach podstawowych globalnego cyklu wodnego, mechanizmów decydujących o przemieszczeniu i gromadzeniu się wody;
2. Określenia ilościowego zasobów wody w funkcji przestrzeni i czasu oraz wpływu na nie zmian środowiska — naturalnych i sztucznych;
3. Określenia fizycznych i chemicznych charakterystyk lokalnych zasobów wodnych i wpływu na nie gospodarczej działalności człowieka.

Wymienione poprzednio środki zdalnego sensorowania odegrają zasadniczą rolę w zbieraniu danych niezbędnych do rozwiązywania powyższych problemów. Dane te będą dotyczyły modelu spływu wód powierzchniowych, wilgotności gleby, wegetacji, obecności wód podziemnych, pokrycia śniegiem i lodem i in.

k której zadaniem jest zbadanie korzyści, jakie mogą wyniknąć z zastosowania zdalnego sensorowania dla krajów rozwijających się. Pod auspicjami ONZ przygotowywanych jest kilka projektów próbnych, tzw. „pilotujących”, których realizacja ma poprzedzić zastosowanie zdalnego sensorowania na szerszą skalę. Są to projekty: kanadyjski, brazylijski, indyjski i amerykański. W USA został wystrzelony w 1972 r. satelita ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite). Jego zadaniem było wykonanie obserwacji próbnych na wybranych obszarach, takich, których wszystkie mierzone zdalnie charakterystyki są dokładnie znane. Umożliwi to kalibrację aparatury i sprawdzenie założeń technicznych i teoretycznych programu. Nie są to naturalnie pierwsze próby. Były one już robione kilkakrotnie przy okazji lotów załogowych Gemini i Apollo oraz niektórych satelitów. ERTS 1 miał orbitę polarną o średniej wysokości 920 km. Co 18 dni satelita przelatywał mniej więcej nad tym samym punktem. Pole widzenia objęte obserwacją było kwadratem 185×185 km. Na wyposażenie sensorujące składały się trzy kamery telewizyjne pracujące w różnych częściach widma oraz urządzenie skanujące pracujące w podczerwieni. Czas działania satelity — około 1 roku.

Obszerniejszy program przewidziany jest dla orbitującego laboratorium Skylab, realizowany w 1973 r. Aparatura tego laboratorium jest udoskonalona i obsługiwana (przynajmniej częściowo) przez załogę statku. Niestety dość znaczne nachylenie orbity Skylab (ok. 50°) uniemożliwia obserwację całej Ziemi.

Ochrona środowiska

Dewastacja, a nawet degeneracja naturalnego środowiska, w którym powstało i rozwinęło się życie, staje się coraz poważniejszym utrapieniem ludzkości. Zanieczyszczenia i szkody będące skutkiem ekonomicznych działań człowieka były zawsze nieuniknionym efektem ubocznym funkcjonowania cywilizacji. Obecnie dochodzą jednak już do takich rozmiarów, że zaczynają zagrażać równowadze ekologicznej całej planety. Co gorsza, wszystkie przewidywania zgadzają się w tym, że przez najbliższych kilkanaście lat sytuacja będzie się nadal pogarszać.

Weźmy dla przykładu światową statystykę zużycia ropy naftowej:

lata	mln t
1950	523
1960	1 054
1970	2 260

Jasne jest, że produkcja i zużycie ropy będą nadal wzrastać. Przewiduje się, że w 1980 r. produkcja ropy osiągnie prawdopodobnie 4 000 mln ton. Z tego większa część ulega spaleni, wydzielając dwutlenek węgla. Dwutlenek węgla ulega rozkładowi na drodze przyswajania przez rośliny i plankton morski. Ponieważ ilość tych ostatnich na pewno nie wzrasta, bilans dwutlenku węgla w atmosferze musi ulegać zmianie. Nie jest jeszcze oczywiste, jakie pociągnie to za sobą skutki. Jest jednak wielce prawdopodobne, że nastąpi ogólne ocieplenie klimatu w skali całej Ziemi. Może to spowodować częściowe lub całkowite roztopienie lodów polarnych, co z kolei przyniosłoby podniesienie poziomu oceanów o kilkadziesiąt metrów, a więc światowy kataklizm.

Znaczna ilość ropy (ocenia się na ok. 5% ogólnej ilości) dostaje się do atmosfery w postaci lotnych węglowodorów. Obecnie wynosi to około 100 mln ton rocznie! Większa część wydobywania ropy naftowej przewożona jest drogą morską. Tankowce i inne statki „gubią” rocznie w morzach ok. 1 mln ton. Następny mln ton dostarczają ścieki przemysłowe, w szczególności z rafinerii, wydobyte prowadzone na pełnym morzu, katastrofy tankowców. Mniej więcej ok. 10% węglowodorów lotnych zawartych w at-

mosferze ulega rozpuszczeniu w oceanie. Daje to ok. 10 mln ton. W tej sytuacji można się jedynie dziwić, że przy takiej porcji zanieczyszczeń równowaga biologiczna oceanów nie została jeszcze poważnie zchwilana.

Czy nauka i technika będą w stanie zahamować proces zniszczenia związany z rozwojem cywilizacji? Trudno na to odpowiedzieć jednoznacznie, gdyż na ogół to nie naukowcy podejmują decyzje gospodarcze i polityczne, ale trzeba stwierdzić, że oni pierwsi dostrzegli niebezpieczeństwo i obecnie wskazują środki jego uniknięcia.

Jednym z głównych warunków opanowania sytuacji jest posiadanie aktualnych informacji o poziomie zanieczyszczeń lub raczej zakłóceń stanu normalnego oraz otrzymywanie sygnałów o zachodzących zmianach w ekologicznym układzie planety. Należy więc stworzyć system stałej obserwacji i kontroli system obejmujący całą Ziemię, zdolny do zbierania niezbędnych danych, szybkiego ich przetwarzania i wielokrotnego powtarzania obserwacji przez długi okres czasu. Najsprawniejszym i najbardziej ekonomicznym narzędziem takiej kontroli byłby system satelitarny, korzystający z techniki zdalnego sensorowania. Omówmy po kolei problemy związane z kontrolą trzech głównych środowisk (3): 1. Atmosfery, 2. Oceanu, 3. Lądu.

Atmosfera. Zanieczyszczenia atmosferyczne znajdują się przede wszystkim w stosunkowo cienkiej warstwie w pobliżu powierzchni Ziemi. Okazało się jednak możliwe fotografowanie kondensacji zanieczyszczeń w postaci chmur i mgieł z pokładu statku kosmicznego Gemini. Podobne zjawiska wykryto również na fotografiach otrzymanych z satelitów meteorologicznych Nimbus.

Zagadnienia związane z przenoszeniem się, rozprzestrzenianiem i koncentracją zanieczyszczeń są dotychczas mało zbadane. W szczególności odnosi się to do wyższych warstw atmosfery. Poza tym okres połowicznego zaniku różnych składników zanieczyszczających nie są dokładnie znane i jest możliwe, że w niektórych wypadkach są one bardzo długie. W takiej sytuacji stopień zanieczyszczenia atmosfery będzie systematycznie wzrastał. Warto też zwrócić uwagę, że jeśli nawet najważniejsze składniki zanieczyszczeń są znane, to istnieje szereg składników zupełnie nie zbadanych, dla których nie można czynić żadnych przewidywań ani oszacowań. W związku z tym, w pierwszym rzędzie należy skierować wysiłki na zbadanie stanu istniejącego. Przygotowywana aparatura do kontrolowania atmosfery oparta jest na zasadzie absorpcji optycznej oraz na zjawisku rozpraszania energii w częściach widma: ultrafioletowej, w świetle widzialnym i w podczerwieni. Najbardziej obiecujący wydaje się obszar podczerwieni, w którym wiele czynników zanieczyszczających posiada charakterystyczne „wizytówki” absorpcyjne. Dodatką stroną użycia tego zakresu częstotliwości jest fakt, że można prowadzić obserwacje dzień i noc oraz fakt, że stosunkowo słabe są zakłócenia pochodzące od Słońca i innych źródeł światła. Niedogodnością natomiast jest, że do ilościowego pomiaru zanieczyszczeń konieczna jest znajomość temperatury powierzchni Ziemi oraz profilu temperatury atmosfery. Również chmury uniemożliwiają obserwację.

W chwili obecnej nie ma wypróbowanej technologii dla satelitarnego kontrolowania zanieczyszczeń powietrza. Aparatura badawcza nadaje się lepiej do wykorzystania na powierzchni Ziemi bądź do umieszczenia w samolotach. Można sądzić, że niższe warstwy atmosfery raczej nie będą przedmiotem zdalnego sensorowania. Zostanie ono natomiast z pewnością wykorzystane do obserwacji górnej atmosfery.

Ocean. Okres połowicznego rozpadu różnych czynników zanieczyszczających jest o wiele dłuższy w wodzie niż w powietrzu. Wody, a szczególnie ocean, mogą być w wielu przypadkach traktowane jako osadniki, w których zanieczyszczenia osadzają się na dnie. Ruchy mas wodnych powodują jednak częste podnoszenie tych osadów, a nawet ich powrót do atmosfery. Ogólnie biorąc, przemieszczanie zanieczyszczeń w wodzie są znacznie powolniejsze niż w powietrzu. Aby mieć pełną kontrolę nad tymi zjawiskami, pomiary muszą być wykonywane w regularnych odstępach czasu. Odstępy te muszą być krótsze, niż 17-dniowy interwał przewidziany dla satelitów ERTS. Tak więc ten system satelitarny nie nadaje się do kontrolowania stanu zanieczyszczeń mórz. Wydaje się celowe obarczenie kontrolą różnych

lokalnych źródeł zanieczyszczeń rządów poszczególnych krajów. To nie oznacza, że w przyszłości nie będzie można utworzyć systemu satelitarnego, który mógłby spełniać i to zadanie. Natomiast już obecnie jest możliwe obserwowanie zmian zachodzących w większej skali.

Przykładem mogą być zaburzenia termiczne środowiska, powodowane przez ścieki z elektrowni lub inne ścieki przemysłowe z dużych skupisk ludzkich. Woda o wyższej temperaturze sygnalizuje swoją obecność promieniowaniem podczerwonym o natężeniu silniejszym niż odbite promieniowanie słoneczne o tej częstotliwości. Dla pomiarów tego promieniowania istnieje już opracowana technika z powodzeniem wykorzystywana w systemach satelitarnych. Metoda ta ma jednak dość istotne ograniczenie polegające na tym, że energia wypromieniowywana jest wyłącznie z bardzo cienkiej warstwy wody przy powierzchni. Szczegółowe badania wykazały, iż warstwa, z której pochodzi 95% emitowanej energii, ma zaledwie dziesiątą część milimetra grubości.

Możliwość wykorzystania zdalnego sensorowania w celu wykrycia składu chemicznego zanieczyszczeń albo ich stosunku ilościowego jest utrudniona przez fakt, że promieniowanie słoneczne ma ograniczone możliwości przenikania wody. Najbardziej przenikliwe jest światło widzialne, jest ono źródłem energii dla reakcji organicznych zachodzących w wodzie. Stąd potencjalna możliwość wykorzystania barwy wody jako wskaźnika przemian organicznych w niej zachodzących, a więc ogólnego stopnia zanieczyszczenia. Wydaje się jednak mało prawdopodobne, aby można było otrzymywać metodą zdalnego sensorowania bardziej szczegółowe informacje w tym zakresie.

Metoda ta nadaje się bardziej do kontroli zanieczyszczeń na powierzchni. Chodzi tu o plamy powstałe z rozlania ropy naftowej oraz skupiska innych substancji pod postacią pian i „szumowin”. Rozmiar wycieków ropy przybrał już zasięg problemu globalnego. Wypadki takie, jak katastrofa tankowca „Torrey Canyon” lub katastrofa szybu koło Santa Barbara zwróciły na ten problem uwagę opinii publicznej. Jednakże, jak to już powiedzieliśmy poprzednio, wypadki tego rodzaju dają stosunkowo niewielką część całego zanieczyszczenia. Tym bardziej więc trzeba dążyć do poddania go kontroli. Istnieje kilka opracowanych już sposobów zdalnego sensorowania, opartych na analizie spektralnej i fotografii podczerwonej, wykorzystywanych przy użyciu samolotów.

Zwróćmy jeszcze uwagę na problemy biologiczne zanieczyszczenia wód oceanicznych. 71% powierzchni Ziemi jest pokryty wodą i mniej więcej połowa materii organicznej występującej na naszej planecie formowana jest dzięki procesom życiowym alg morskich. Jednocześnie wytwarzany jest tlen. Z punktu widzenia potrzeb ludzkich ocean jest źródłem protein, niezbędnych do wyżywienia szybko rosnącej ludności świata. Dla minimalnego choćby zaspokojenia tych potrzeb do 2000 r. należałoby zwiększyć połowy ryb czterokrotnie w stosunku do stanu obecnego. Nie będzie to sprawa łatwa, ponieważ większość zasobnych łowisk mieści się na obszarach szelfów kontynentalnych, które jednocześnie są miejscem spływu największych zanieczyszczeń.

Podstawą dla oceny stanu możliwości rozwoju życia biologicznego w danym obszarze może być ilość chlorofilu w wodzie, ponieważ mówi on o wielkości produkcji biomasy planktonu, który z kolei wskazuje na obecność ryb. Metody badania zawartości chlorofilu w wodzie są w stadium eksperymentowania. Wiadomo, że chlorofil ma specyficzną charakterystykę absorpcji światła widzialnego, wobec tego nadaje się do sensorowania metodą spektroskopii lub fotografii kolorowej.

W związku z tym, że metody zdalnego sensorowania oceanu nie są jeszcze do końca rozpracowane, bierze się pod uwagę również inne rozwiązanie. Polega ono na umieszczeniu w morzach całego szeregu stacji automatycznych, zakotwiczonych lub dryfujących, wykonujących systematycznie odpowiednie analizy i przekazujących wyniki drogą radiową via satelita do centrum kontrolnego. System taki nie zastąpiłby całkowicie zdalnego sensorowania, gdyż pomiary miałyby charakter dyskretny, a dla pełnego pokrycia oceanów musiałoby być tysiące takich stacji, jednakże byłby bardzo przydatny jako dostarczający danych uzupełniających i kontrolnych.

Łąd. Najbardziej obiecująca i najbardziej zaawansowana jest metoda zdalnego sensorowania obszarów łądowych. Szczególnie obiecujący jest sposób polegający na skanowaniu obrazu w wielu pasmach widma. Znając „wizytówki” spektralne różnego rodzaju obiektów, możemy stosunkowo wiele dowiedzieć się o nich analizując otrzymany zapis. Ocena i klasyfikacja sztucznych systemów ekologicznych, jak polne czy lasy, jest łatwiejsza niż skomplikowanych ekosystemów naturalnych. W krajach wysoko rozwiniętych wspomniana metoda była już używana z pokładu samolotów do oceny zasobów rolniczych. Oczywiście do celów ochrony środowiska należałoby ją odpowiednio dostosować, wybierając jednocześnie zjawiska, które dają najwięcej informacji w tym względzie.

Działalność człowieka zmienia system ekologiczny bądź to celowo — dla uzyskania obszarów upraw — bądź mimowolnie. Te sztuczne ekosystemy są znacznie bardziej niestabilne niż systemy naturalne. Niestabilność ta wyraża się np. we wrażliwości wszelkich upraw rolnych na zarazy, insekty i chwasty. Występuje tu pewna analogia do naturalnych ekosystemów w rejonach marginalnych, tzn. w tych rejonach, gdzie przebiega linia graniczna między obszarami zdatnymi i niezdatnymi do życia. Przykładem takiego rejonu marginalnego może być tundra albo pustynia. Mogą tam żyć tylko nieliczne gatunki i brak jest odpowiedniej ilości sprzężeń zwrotnych regulujących funkcjonowanie takiego systemu. W pewnych okolicznościach, np. łagodniejszej zimy lub opadów, następuje eksplozja populacji tego lub innego gatunku, kończąca się masową hekatombą. Przykładem mogą tu być lemingi na północnego lub innego gatunku, kończąca się masową hekatombą. Przykładem mogą tu być lemingi na północnego lub okresowe plagi szarańczy wylęgłej na pustyni. Podobnie rzecz się ma z roślinnością. Stosunkowo niewielka zmiana warunków powoduje znaczne zmiany zasięgu występowania tego czy innego gatunku.

Podobne zmiany powodowane są działalnością człowieka. Są oznaki świadczące o przesuwaniu granic pustyń Sahary i Kalahari, czy też pustyń w Ameryce Północnej. Ten typ zmian bardzo dobrze nadaje się do obserwacji z satelitów i to nawet bez ulepszania techniki służącej do badania zasobów.

Warto wspomnieć o pierwszych próbach podejmowanych w tym kierunku. Jednym z tematów prelekcji kosmonautów radzieckich w czasie grupowego lotu statków Sojuz-6, 7 i 8 był właśnie problem pustyń. Tematyką tą zajmowała się także NASA oraz zespół z Uniwersytetu Leningradzkiego.

Zakończenie

Kończąc ten przegląd, chciałbym zwrócić uwagę Czytelnika na jedną okoliczność wspólną dla wszystkich wykorzystania i zastosowań sztucznych satelitów. Jest nią skala przedsięwzięcia, skala najczęściej ogólnosiwiatowa, a co najmniej wielopaństwowa. Są wprawdzie dwa mocarstwa zdolne samodzielnie prowadzić badania kosmiczne i wykorzystywać je, ale i one nie mogą ograniczyć się do działań na własnym terytorium, po prostu dlatego, że satelita okrąży Ziemię nie pytając o granice państwowe. Niemniej wszystkie pozostałe narody mogą korzystać z tych szczytowych osiągnięć techniki tylko pod warunkiem porozumienia się, wspólnego działania. Jest to niezwykle interesujący aspekt badań kosmicznych, iż zmuszają one do współpracy, jednoczą całą ludzkość w roli gospodarza zarządzającego systemem — Ziemią. W miarę coraz powszechniejszego stosowania techniki kosmicznej, jej integracji, oddziaływanie będzie coraz silniejsze, coraz skuteczniejsze.

Warto przytoczyć słowa b. Sekretarza Generalnego ONZ U Thanta, który, podsumowując wyniki wiedeńskiej konferencji ONZ na temat pokojowego wykorzystania przestrzeni kosmicznej, tak pisał: „Jednym z najbardziej zachęcających faktów było prezentowanie programów współpracy w badaniach kosmicznych i wykorzystaniu Kosmosu. Jeżeli byłyby na ten temat jakieś wątpliwości, zostałyby rozproszone przez referaty przedstawione na konferencji, w których kraj po kraju omawiały programy współpracy, w jakich uczestniczą. Sukces tych wysiłków zachęca nas do wiary, że możemy obecnie i dalej i osiągnąć wyższy poziom współpracy, aby wyciągnąć praktyczne korzyści z olbrzymich postępów nauki i techniki, uczynionych dzięki badaniom kosmicznym”.

Bibliografia

1. Guier W. H., *Navigation using artificial satellites. The Transit system.* — The use of artificial satellites for geodesy. North Holland Publ. Co. 1963
2. Kaplonov M. R., *Molnya-I Communication satellite*, U. N. Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space, Vienna 1968.
3. Lundholm Bengt, *The use of Earth survey satellites in monitoring the changes in the global environment*, Committee on the Peaceful uses of Outer Space, 1971.
4. *Practical benefits of space exploration*, United Nation, 1969.
5. *Report on the UN Panel on remote sensing systems for Earth resources surveys*, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 1971.
6. *Space communications: increasing UN responsiveness to the problems of mankind*, A report of a National Policy Panel United Nations Association of USA.
7. Wereszczyński J., *Podstawy nawigacji przy użyciu sztucznych satelitów Ziemi*, PWN, Warszawa 1971.