

Jan R. Olędzki  
/Warszawa/

WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ SATELITARNYCH  
W BADANIACH WYBRZEŻY MORSKICH

Od kilkunastu już lat odbywają się loty sztucznych satelitów wokół Ziemi. Zadaniem niektórych z nich jest prowadzenie obserwacji powierzchni Ziemi. Należy tu wymienić bezzałogowe satelity amerykańskie z serii TIROS, ESSA, NIMBUS, ITOS, ERTS oraz satelity radzieckie z serii KOSMOS. Wyposażone one były lub są w elektroniczne urządzenia obrazujące, takie jak kamery vidikonowe i analizatory wielospektralne. Wszystkie satelity wymienionych tu serii poza ERTS i KOSMOS przeznaczone były głównie do prowadzenia obserwacji meteorologicznych. W związku z tym, z reguły obrazy otrzymywane za ich pośrednictwem przedstawiały wielkie powierzchnie Ziemi, więc skala ich była bardzo mała. I tak z satelitów serii TIROS otrzymywano obrazy w skali 1:19 mln, z satelity ITOS 1:250 mln, a z ATS-3 nawet 1:7 000 mln. Rozróżnialność terenowa w punktach podsatelitarnych była także niewielka i wynosiła w urządzeniach satelity TIROS: 0,4 - 1,1 km/na parę linii, a 18,0 - 22,5 km/na parę linii w ATS-3. Poza urządzeniami obrazującymi satelity te były wyposażone, między innymi, w mierniki promieniowania zarówno dla światła widzialnego jak i bliższej i dalszej podczerwieni. Rozróżnialność terenowa tych urządzeń była rzędu 800 m - urządzenie VHRR /Wysoko Rozróżnialny Miernik Promieniowania/ pracujące w zakresie promieniowania o długości fali 600-750nm i 1000-1250nm. Ostatnio do otrzymywania obrazu dysku Ziemi, wykorzystano laser zainstalowany na satelicie SMSA, wystrzelonym na orbitę okołoziemską w sierpniu 1974 roku.

Przydatność obrazów otrzymywanych z wyżej wymienionych satelitów o tyle zasługuje na uwagę, że za ich pomocą możliwe stało się stwierdzenie różnic temperatury wody morskiej, a właściwie uzyskanie obrazu przestrzennego ich rozmieszczenia. Przykładem może tu być obraz otrzymany za pośrednictwem jednego z satelitów serii NIMBUS, z urządzenia mierzącego promieniowanie podczerwone. Na mapie opracowanej na podstawie tego obrazu, barwą czerwoną przedstawiono wody cieplejsze związane z ciepłym prądem Zatokowym, barwą żółtą chłodne wody przybrzeżne, częściowo spływają-

ce rzekami do morza, barwą zieloną obszarów lądowych, a niebieską chmury.

Dłużej jednak chciałbym się zatrzymać nad wykonywaniem i wykorzystaniem zdjęć fotograficznych uzyskiwanych w czasie odbywających się od 1961 roku lotów załogowych w ramach programów MERCURY, GEMINI i APOLLO. Należy tu zaznaczyć, że fotografowanie Ziemi w czasie realizacji tych programów było tylko dodatkową czynnością tych misji. W czasie lotów MERCURY używano następujących kamer fotograficznych: Maurer 220G z obiektywem Fintar  $f=75$  mm, Milliken DBM-7, Ansco Autoset, Robot Record oraz Hasselblad 500C z obiektywem Zeiss Planar  $f=80$  mm. Zdjęcia wykonywane były na różnego rodzaju filmach o szerokości 16, 35 i 70 mm. Przedstawiały one głównie teren Ameryki Północnej, Atlantyku, Afryki, Środkowego Wschodu, południowo-wschodniej Azji i Pacyfiku.

W programie GEMINI używano głównie kamer Hasselblad 500C, Hasselblad SWC, oraz Maurer Space Camera i obiektywów o ogniskowych 38, 80 i 250 mm. Zdjęcia wykonywano na filmach o różnych charakterystykach spektralnych. Szerokość taśmy wynosiła 70 mm. W czasie tych misji sfotografowano głównie południowo-zachodnią część USA, Meksyk, Afrykę północno i południowo-wschodnią, Bliski Wschód, północno-wschodnią część Ameryki Południowej, rejon karaibski, Chiny, Indie, Australię, a z obszarów morskich wybrzeże Oceanu Indyjskiego, Wyspy Bahama, Wyspy Kanaryjskie oraz wschodnie wybrzeże USA. W programie APOLLO używano również kamer Hasselblad 500C oraz Maurer 220G z obiektywami o ogniskowych 76, 80 i 250 mm. W czasie okołoziemskich lotów orbitalnych fotografowano obszary położone między  $39^{\circ}\text{N}$  a  $22^{\circ}\text{S}$ . Nowością w stosunku do innych misji, było zastosowanie w czasie lotu APOLLO-9 sprzężonych czterech kamer Hasselblad 500C wyposażonych w filmy: Ektachrome IR /SO-180/, Panatomic X i B-a-w IR /SO-246/ z Wratten'owskimi filtrami /15, 58B, 25A/.

Tak więc w czasie wszystkich tych programów zebrano stosunkowo obfity materiał zdjęciowy, który został następnie poddany interpretacji przez specjalistów z różnych dziedzin.

A oto kilka przykładów interpretacji zdjęć satelitarnych dotyczących strefy przybrzeżnej. R.L.Mairs [3] omawia jedno ze zdjęć uzyskane w czasie misji APOLLO-9. Na zdjęciu przedstawiony jest fragment wybrzeża stanu Północna Karolina w USA. Zdjęcie to jest doskonałym przykładem ilustrującym dynamikę wód w strefie przybrzeżnej uwarunkowaną prądami, prądem Zatokowym, prądami przybrzeżnymi, wiatrami i dopływem wody rzecznej. Na zdjęciu tym zwrócono uwagę na zmętnienie wody morskiej spowodowane przez znaczną zawartość w niej cząstek mineralnych, koloidów i substancji organicznej. Zwraca uwagę znacznie większa mętność wody w obrębie laguny niż w rzekach doprowadzających do niej wodę. Wynika z tego, że powodem

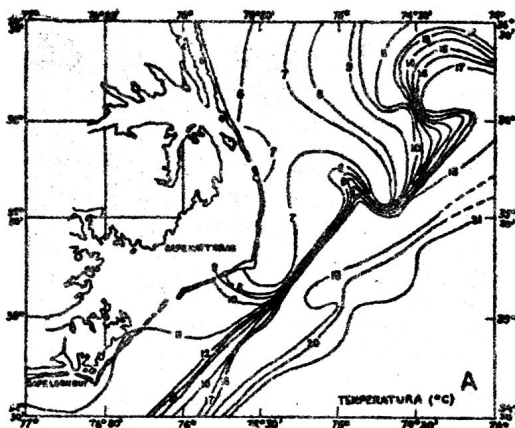
zmętnienia nie może być zwiększony napływ wody rzecznej obciążonej osadem. I rzeczywiście, według danych meteorologicznych dla tego okresu okazało się, że nie tyle opady co raczej wiejące z szybkością 30 km/godz. wiatry są odpowiedzialne za wystąpienie tego zjawiska. Taka szybkość wiatru przy niewielkiej głębokości /4,5 m/ laguny mogła spowodować wzburzenie wody i poruszenie osadów dennych. Kolejnym przykładem są pióropusze osadów wyrzucanych przez cieśniny na pełne morze. Są one związane z odpływem morza. Ich zasięg obliczany był teoretycznie na podstawie tabel szybkości odpływu, a następnie pomierzony na zdjęciu. W obu wypadkach otrzymano podobne wielkości zasięgu wód odpływowych, wynoszące około 7-8 km. Zauważono również, że pióropusze powstają tylko w okresie odpływów. W czasie przypływów po przeciwnej stronie lądu nie stwierdzono podobnych form. Zdjęcie to umożliwia również prześledzenie granicy między prądami przybrzeżnymi niosącymi wody chłodne, a wyraźnie cieplejszym prądem Zatokowym co zostało jeszcze podkreślone przez występujące nad nim chmury.

Dla obszaru tego wykonano również trzy wyciągi zdjęć czarno-białych dla promieniowania czerwonego, zielonego i niebieskiego. Umożliwiło to obserwację zanurzania się obciążonej osadem wody.

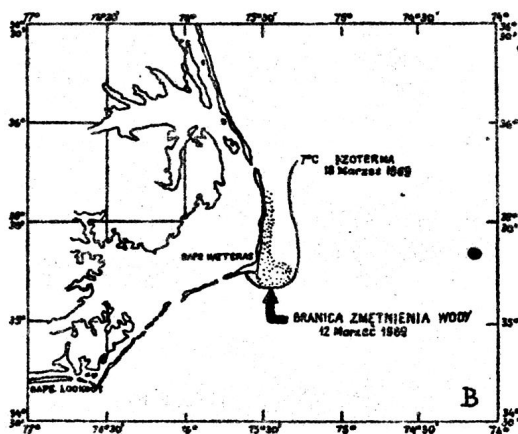
W pobliżu Cape Hatteras możliwe było dostrzeganie na zdjęciu "bariery" oddzielającej wody płynące z północy wzdłuż wybrzeża Wirginii od wód przybrzeżnych stanu Północnej Karoliny. Wody płynące z północy są chłodniejsze i mają mniejsze zasolenie przez co są mniej gęste i w związku z tym nie są zdolne bez sprzyjającego wiatru przedostać się dalej na południe. W pobliżu Cape Hatteras wody skręcają z powrotem na północ, tworząc wielki wir między wybrzeżem a prądem Zatokowym. Położenie tej "bariery" wyznacza izoterma 7°C, /rys. 1/.

S.P.V o n d e r H a a r i R.O.S t o n e [ 5 ] zajmują się z kolei cyrkulacją wód w północnej części Zatoki Kalifornijskiej. Według tych autorów, do czasu uzyskania zdjęć orbitalnych brak było dokładniejszych danych na temat cyrkulacji wód w tej części Zatoki. Zdjęcia orbitalne uwiarydliły, że system cyrkulacji wody zależny jest od wydłużonego kształtu Ziemi. Zafalowania linii brzegowej Sonaranu powstały prawdopodobnie w wyniku działania turbulentnych wirów przybrzeżnych o średnicy 3-5 km. Może to być związane z płynięciem wody w czasie przypływu wzdłuż wybrzeża wschodniego i spływania jej wzdłuż brzegu zachodniego. Największy z obserwowanych tu wirów ma średnicę kilkudziesięciu kilometrów. Zdjęcia satelitarne z tego obszaru umożliwiły także poczynienie obserwacji aktywności biologicznej morza. Na jednym ze zdjęć zaobserwowano kwitnienie planktonu. Stwierdzono jednak, że dokładniejsze badania tą metodą muszą zostać poprzedzone odpowiednimi przygotowaniem łącznie z zorganizowaniem obser-

wacji naziemnych. Okazało się, że filmy podczerwone nie nadają się do tego rodzaju badań ze względu na ograniczoną zdolność promieniowania podczerwonego do przenikania grubszej warstwy wody.



Rys. 1A Izotermi temperatury powierzchniowej morza



Rys. 1B Kalka interpretacyjna zdjęcia z Apollo  
z nałożoną izotermą 7°C /wg R.L.Mairs/

Zmiany w kolorystyce i teksturze obrazu morza na zdjęciach orbitalnych były już często przedmiotem interpretacji. Na zdjęciach z północnej części Zatoki Kalifornijskiej zwracają uwagę wydłużone brązowe smugi. Pierwotnie ich występowanie wiązano ze zróżnicowaniem głębokości w tej części Zatoki. Stwierdzono je jednak również na zajęciach wykonanych w podczer-

wieni, odfotografujących jedynie kilkumilimetrową warstwę wody. Smugi te należy więc wiązać z prądami zawieszinowymi, których układ jest zapewne kontrolowany przez prądy pływowe oraz przez lokalne silne sztormy. Zdjęcia satelitarne umożliwiły również wyznaczenie obszarów morza o różnym stopniu falowania. Zdjęcia takie poprzez odfotografowanie chmur mogą pośrednio być wykorzystywane do wyznaczania mas wodnych o różnej temperaturze. Możliwe jest także wyznaczenie na nich zasięgu bryzy morskiej nad obszarami lądowymi.

W oparciu o zdjęcia satelitarne próbowano [2] również ocenić przezroczystość wód. Okazało się na podstawie tych badań, że w skali rocznej przeciętnie 85 % światowych wód przybrzeżnych jest dostatecznie czysta, aby można było kartować topografię dna do głębokości 20 m, używając do tego celu umieszczonej na pokładzie samolotu echosondy laserowej. 35 % wód jest dość czysta aby mogła być kartowana co najmniej do głębokości 20 m przy zastosowaniu zdjęć barwnych, a do głębokości 40 m przy sadowaniu laserowym. 10 % wód jest na tyle przezroczyste, że może być kartowana na podstawie zdjęć lotniczych do głębokości większej niż 30 m.

Wprawdzie zasadniczym celem tego artykułu było podanie kilku przykładów stosowania fotografii satelitarnej w badaniach morza, należy jednak zwrócić uwagę na to, że dopiero satelita ERTS-1 jest przeznaczony do badania powierzchni Ziemi i to tak szczegółowo jak nigdy przedtem nie czynił tego żaden satelita cywilny. Mimo, że na pokładzie ERTS-1 nie ma kamer fotograficznych, a jedynie urządzenia elektroniczne, to jednak uzyskiwane obrazy niewiele ustępują ostrością fotografiom uzyskiwanym z satelitów załogowych. Program ERTS-1 przeznaczony jest do badania zasobów naturalnych Ziemi, a w tym mórz i oceanów. Za jego pośrednictwem przeprowadzone zostały między innymi badania zasobów biomasy u wybrzeży północno-zachodniej Afryki [4]. Badano także przemieszczanie się osadów zawieszinowych w Zatoce Delaware [1], [6]. Dla południowo-wschodniego wybrzeża Massachusetts porównywano dane uzyskane z obrazów ERTS-1 z istniejącymi mapami. Obrazy z analizatora wielospektralnego /MSS/ dostarczyły ważnych informacji hydrogeologicznych koniecznych dla dokładnej aktualizacji map wybrzeża w skalach od 1:125 000 do 1:1 000 000. Williams [6] wymienia następujące korzyści jakie wynikają z zastosowania obrazów z satelity ERTS-1 do badania strefy przybrzeżnej: jednoczesne pokrycie obserwacją dużego obszaru /185 x 185 km/, powtarzalność obserwacji co 18 dni, możliwość kartowania trudnodostępnych terenów, takich jak: bagna przybrzeżne, równiny pływowe, mielizny, ławice piaszczyste i kanały portowe. Wszystkie te obiekty nie są uwzględniane na mapach w mniejszych podziałkach.

Wskazuje się również [ 7 ] na konieczność posługiwania się obrazami z satelity ERTS-1 przy opracowywaniu planów zagospodarowania stref przybrzeżnych /podejmowanie odpowiednich decyzji gospodarczych i zarządzanie na szczeblu regionalnym/.

#### LITERATURA

1. Klemas V., Borchardt J.F., Treasure W.M. 1973. Suspended Sediment Observations from ERTS-1. Remote Sensing of Environment, Vol. 2, No 4.
2. Lepley L.K. 1968. Coastal Water Clarity from Space Photographs. Photogrammetric Engineering, Vol. XXXIV, No.7.
3. Mairs R.L. 1970. Oceanographic Interpretation of Apollo Photographs. Photogrammetric Engineering, Vol. XXXVI, No. 10.
4. Szekiolda K.H., Curran R.J. 1973. Biomass in the Upwelling Areas Along the Northwest Coast of Africa as Viewed with ERTS-1. Symposium on Significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite - 1. Vol. 1: Technical Presentations, Section B. March 5-9. Godard Space Flight Center, Greenbelt - NASA.
5. Vonder Harr S.P., Stone R.O. 1973. Oceanographic Analysis of Orbital Photographs of the Upper Gulf of California. Photogrammetria, Vol. 29, No. 2.
6. Williams R.S. 1973. Coastal and Submarine Features on MSS Imagery of Southeastern Massachusetts: Comparison with Conventional Maps. Symposium on significant results obtained from the ERTS-1, Vol. 1. Technical Presentations, Section B. March 5-9. Godard Space Flight Center, Greenbelt - NASA.
7. Wobber F.J., Anderson R.R. 1973. ERTS Data for Coastal Management. Photogrammetric Engineering, Vol. XXXIX, No. 6.

J.R.Olędzki

#### THE USE OF SATELLITE PHOTOGRAPHS IN THE EXPLORATION OF SEA SHORES

At the beginning of the paper the author discusses the objectives and the equipment of some of the unmanned satellites used for the exploration of the atmosphere and the surface of the Earth. Subsequently, he describes the photographic equipment of the manned spacecraft of the space pro-

grammes "Mercury", "Gemini", and "Apollo". The objectives of the photographic experiments of these programmes were to select and test the best photographic equipment and filters and films suitable for taking pictures of the Earth surface. An additional result of these experiments was a large collection of photographs. Some of the photographs taken by the astronauts represented shore areas. A survey of the literature concerned with the utilization of satellite photographs in studies of the sea coasts indicates that they are particularly useful for the tracing of the coastal currents dynamics, translocation of sediments of the suspension type, and of bottom sediments. It was on the basis of the spacecraft photographs that it was also possible to quantitatively assess the transparency of the coastal waters on world scale. At the end of the paper the author quotes several examples of results from oceanographic investigations based on the use of photographs sent by the satellite ERTS-1.