

Katedra Kartografii i Geografii Fizycznej
Wydziału Nauk Przyrodniczych
Uniwersytetu Karola
Praga

Richard Čapek

FOTOGRAFOWANIE SATELITARNE DLA CELOW GEOGRAFICZNYCH

Już od szeregu lat niemal codziennie dowiadujemy się o wyrzeleniu nowych sztucznych satelitów Ziemi. Wiadomości tego rodzaju są dla nas obecnie na tyle powszednie, że przestajemy je powoli przeżywać i nawet nie zastanawiamy się nad tym, do czego ma służyć wystrzelony satelita. Do końca 1974 r. zostało wprowadzonych na orbitę okołoziemską 1716 satelitów. Wiele spośród nich dokonywało, oprócz innych czynności, również fotografowania powierzchni Ziemi. Właśnie fotografowanie powierzchni kuli ziemskiej stanowi jedno z najważniejszych zadań lotów kosmicznych dlatego, że na podstawie zdjęć z satelitów możemy uzyskać informacje o tym, na co nie mogą odpowiedzieć ani zdjęcia lotnicze ani obserwacja lądowa.

Jakie są zalety zdjęć satelitarnych w porównaniu z lotniczymi? Zdjęcia satelitarne obejmują przede wszystkim o wiele większe obszary powierzchni ziemskiej i w związku z tym na jednym zdjęciu mogą być pokazane bardzo rozległe rejony, przy czym powstaje ono w jednym momencie. Następnie są one przekazywane w regularnych odstępach czasu (z reguły dość krótkich) do stacji odbiorczych. Daje to możliwość porównywania zdjęć pochodzących z różnych okresów i śledzić na nich zaistniałe zmiany. Wykonywanie zdjęć z satelitów jest wielokrotnie szybsze i przy fotografowaniu rozległych obszarów też tańsze niż z samolotów. Fotografowanie satelitarne jest ponadto niezależne od granic politycznych i atmosferycznych.

Jeżeli geograf chce korzystać ze zdjęć satelitarnych dla swoich celów, powinien w pierwszym rzędzie zorientować się czego może oczekiwać od poszczególnych rodzajów zdjęć. W związku z tym należy przede wszystkim wiedzieć na jakich orbitach wykonywane są zdjęcia satelitarne oraz jakie rodzaje zdjęć może geograf otrzymać.

Większość sztucznych satelitów okrąża Ziemię po torach eliptycznych zbliżonych do koła. W zależności od ich położenia w stosunku do płaszczyzny równika, rozróżnia się trzy rodzaje orbit: r ó w n i -

k o w ą , s u b p o l a r n ą o r a z s k o ś n ą .

Po torze r ó w n i k o w y m okrążają Ziemię w odległości 36 000 km satelity geosynchroniczne. Czas okrążenia Ziemi tych satelitów trwa równie długo, jak obrót Ziemi wokół swej osi. Ze względu na to, że obiegają one Ziemię w kierunku z zachodu na wschód, znajdują się nad tym samym punktem i z tego też powodu nazywane są satelitami stacjonarnymi. Do nich należą między innymi satelity ATS (Applications Technology Satellite), które wykonują zdjęcia globalne rozległej części powierzchni Ziemi w skali 1:10 000 000 oraz jeszcze mniejszej. System czterech satelitów ATS rozmieszczonych wzdłuż równika i uzupełniony dwoma satelitami znajdującymi się nad biegunami, byłby w stanie objąć całą powierzchnię Ziemi jednocześnie. Zdjęcia z jednego tylko satelity ATS 3 (znajdującego się nad ujściem Amazonki) pokrywają mniej więcej 43% powierzchni Ziemi i można na nich rozpoznać obiekty wielkości 3-5 km.

Satelity okrążające Ziemię po torze s u b p o l a r n y m poruszają się w przybliżeniu w kierunku południkowym. Nachylenie toru tych satelitów wynosi około 100° a czas okrążenie zależy jest od wysokości lotu. Odległość orbity 500-1500 km od Ziemi odpowiada w przybliżeniu czasowi okrążenia równemu 2 godzinom. Po torze subpolarnym okrążała i jeszcze obiega Ziemię większość satelitów meteorologicznych (TIROS, NIMBUS, ASSA, NOAA, Meteor), które jednak z punktu widzenia geograficznego posiadają o wiele mniejsze znaczenie niż satelity typu "Kosmos" albo znany ERTS 1 (Earth Resources Technological Satellite). Wymienione satelity wykonują zdjęcia regionalne o skali zmieniającej się od 1:1 000 000 do 1:10 000 000. Fotografowanie odbywa się systematycznie i w związku z tym po pewnym czasie uzyskuje się ciągłe pokrycie przeważającej części powierzchni Ziemi. Zdolność rozpoznawcza zdjęć zależy jest od urządzenia fotografującego i od układu przekazywania zdjęć na Ziemię. Podczas gdy na zdjęciach z satelitów meteorologicznych nie można rozróżnić obiektów mniejszych niż 1-3 km, to na fotografiach z satelity ERTS 1 można rozpoznać szczegóły aż dziesięciokrotnie mniejsze.

Orbita s k o ś n a pochylona jest do płaszczyzny równika około $30-50^{\circ}$. Droga satelity poruszającego się po takiej orbicie przypomina linię falistą, która wielokrotnie przecina ziemski równik i zawraca w momencie, kiedy osiągnie szerokość geograficzną odpowiadającą nachyleniu toru. Wysokość lotu wynosi 200-500 km i czas okrążenia około półtorej godziny. Z orbit skośnych wykonuje się głównie zdjęcia lokalne z pojazdów kosmicznych załogowych, takich jak: "Gemini", "So-

już" lub SKYLAB. Skala takich zdjęć wynosi z reguły 1:1 000 000 lub więcej a zdolność rozpoznawcza osiąga nawet kilkadziesiąt metrów. Ze względu na skośną orbitę zdjęcia obejmują tylko rejony położone w niskich oraz średnich szerokościach geograficznych. Dlatego też istnieje tyle zdjęć z Arabii oraz Sahary w przeciwieństwie do zdjęć rejonów położonych powyżej 50° szerokości geograficznej.

Oprócz pojazdów kosmicznych-satelitów poruszających się po stałej orbicie fotografowały powierzchnię Ziemi również statki kosmiczne typu "Apollo" oraz "Sonda", przeznaczone dla lotów na księżyc. Fotografie wykonywane podczas lotów tych statków posiadają wysoką jakość, ale nie pokrywają powierzchni kuli ziemskiej systematycznie i z tego względu włącza się je (bez względu na wielkość skali) do zdjęć lokalnych.

Najniższe wysokości, na których satelity okrążają Ziemię osiągają granice rzędu 150-200 km. Zapewne pożyteczne byłoby również fotografowanie z niższych wysokości, ponieważ pomiędzy zdjęciami lotniczymi a satelitarnymi pozostaje niewykorzystana strefa, pewne niewykorzystane pasmo wysokości zawarte w przedziale 20 do 150 km. Samoloty nie mogą osiągać wyższych wysokości, ze względu na niewystarczającą siłę nośną, raketopłany zaś poruszają się na wysokościach około 70 km, ale ich loty są obecnie sporadyczne i dość przypadkowe. Powstaje pytanie, czy nie możnaby wykorzystać do robienia zdjęć na wysokościach od 50 do 100 km sztucznych satelitów Ziemi? Przy wielkich szybkościach, które są niezbędne do tego, aby satelita mógł utrzymać się na swojej orbicie (w tym przypadku pierwsza prędkość kosmiczna - 7,9 km/sek) prawdopodobne jest, że w wyniku ciągłego tarcia w rozrzedzonej atmosferze nastąpiłoby ich spalanie. Obliczono, że na wysokości 500 km satelity zużywają się dopiero po pięciu latach a na wysokości 100 km dojdzie do ich całkowitego zniszczenia już w ciągu pierwszego okrążenia.

Jak już wcześniej wspomniano satelita ERTS 1 stanowi najważniejsze współczesne źródło zdjęć dla celów geograficznych. Zdjęcia satelitarne wykonane przez niego są dzisiaj do dyspozycji wszystkich zainteresowanych na całym świecie. Wprowadzenie satelity ERTS 1 na orbitę okołoziemską jest częścią wieloletniego programu badań powierzchni Ziemi EROS (Earth Resources Observation Systems), w skład którego wchodzi łącznie sześć satelitów. Pierwsze dwa (drugi miał być wystrzelony w roku 1975) są przeznaczone do tematycznego kartowania z odległości około 900 km. Następna para ma okrążać Ziemię na mniej-

szej wysokości (150 do 300 km) i wykonywać będzie fotografie dla kartowania topograficznego. Zadaniem ostatnich dwóch satelitów ma być przekazywanie danych oceanograficznych. Na razie aktualne są zdjęcia z satelity ERTS 1 i dlatego będziemy się zajmować jedynie fotografiami z tego satelity.

S a t e l i t a E R T S 1 został wystrzelony na orbitę 23 VII 1972 r. Orbita jego ma kształt koła i jest odległa od Ziemi o 912 km. Okrążanie przebiega po orbicie subpolarnej o nachyleniu toru $99,1^{\circ}$, przy czym czas jednego okrążenia wynosi $103^{\circ}16''$. Co 18 dni wykonuje on 251 okrążeń, w czasie których - z wyjątkiem obszarów biegunowych (ponad 81° szerokości geograficznej) - przeprowadza systematyczne wykonywanie zdjęć całej powierzchni ziemskiej. Nad równikiem satelita przechodzi zawsze o 9.30 lub 21.30 czasu miejscowego. Fotografowanie odbywa się tylko w ciągu dnia. Z powodu uszkodzeń technicznych satelity od dnia 29 III 1973 r. fotografowanie to ogranicza się do obszarów Ameryki Północnej, w innych zaś rejonach robione są tylko zdjęcia wybranych miejsc.

W jakie urządzenia fotografujące wyposażony jest satelita? Z początku pracowały dwa od siebie niezależne systemy. Pierwszy z nich, system telewizyjny RBV (Return Beam Vidicon) stanowiły trzy kamery fotografujące z 10% pokryciem w trzech różnych zakresach widma (0,47-0,83 μm), w 25 sekundowych odstępach czasu. Opisane urządzenie przestało jednak funkcjonować po krótkim czasie. Drugi system, pracujący bez uszkodzeń do chwili obecnej, to multispektralne urządzenie rozkładowe MSS (Multispectral Scanner) z ogniskową 126 mm. Urządzenie wykonuje zdjęcia kolejno w czterech zakresach widma i dlatego dla poszczególnych kolorów istnieją zdjęcia specjalne. ERTS 1 posiada następujące kanały: 0,5-0,6 μm (zielony), 0,6-0,7 μm (czerwony), 0,7-0,8 μm oraz 0,8-0,9 μm (oba podczerwone). ERTS B zostanie ponadto wyposażony w kanał termalnego fotografowania pracujący w zakresie widma o długości fali 10,4-12,6 μm , który będzie wykonywał zdjęcia również nocą.

Zdjęcia, po przekształceniu do postaci numerycznej, są przesyłane na Ziemię, gdzie rejestruje się je na taśmę magnetyczną i dalej przedstawia w formie numerycznej lub w postaci obrazu. Zdjęcia posiadają oryginalny wymiar 6 x 6 cm obejmują powierzchnię 185 x 185 km, co odpowiada powierzchni $34\ 225\ \text{km}^2$. Skala ich wynosi 1:3 369 000, z reguły jednak zdjęcia te dostarczane są w powiększeniu do skali 1:1 000 000 i w tym przypadku tworzą one kwadrat o boku 18,5 cm. Użytkownicy otrzymują zdjęcia na życzenie, to znaczy albo

w wersji czarno-białej (oddzielnie dla każdego kanału) albo też w nie-naturalnych kolorach (uzyskanych na skutek kombinacji zdjęć z różnych zakresów widma). Można je otrzymać w postaci negatywów, diapozytywów, kopii kontaktowych, powiększeń lub w postaci liczbowej - numerycznej. Adres centralnego dostawcy brzmi: EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota 57198, USA.

Ze względu na to, że kąt pola widzenia jest bardzo mały, wpływ zakrzywienia powierzchni Ziemi zaznacza się na zdjęciach w niewielkim stopniu. Największa różnica wysokości nie przekracza 200 m i błąd położenia obiektu 800 m a po wyrównaniu tylko 300 m. Zdolność rozpoznawcza wynosi około 80 m i odpowiada szerokości promienia fotografującego urządzenia rozkładowego, przy czym punktowej struktury obrazu fotograficznego gołym okiem nie można rozróżnić. Wykorzystywaniem zdjęć z ERTS 1 dla celów geograficznych poświęcone było sympozjum międzynarodowej organizacji COSPAR, z którego został opublikowany obszerny, pisany przez geografów, tom: "Approaches to earth survey problems through use of space techniques" (sympozjum zorganizowano w Konstancji a materiały wydano w Berlinie).

Oprócz zdjęć z satelity ERTS 1 na wyjątkową uwagę zasługują materiały fotograficzne wykonane przez laboratorium kosmiczne SKYLAB. Fotografowanie powierzchni Ziemi nie stanowiło tutaj głównego zadania to jednak zrobione zdjęcia wyróżniają się wyjątkową jakością oraz zdolnością rozpoznawczą.

SKYLAB został wprowadzony na skośną orbitę okołoziemską w dniu 14 V 1973 r., odległą od ziemi o 433 km. Ze względu na to, że tor okążania był nachylony w stosunku do równika o 50° fotografowano tylko rejony znajdujące się pomiędzy 50° północnej oraz 50° południowej szerokości geograficznej. Czas okążania statku SKYLAB wynosił $90'$. W okresie dziewięciu miesięcy (do 8 II 1974 r.) wymieniły się na jego pokładzie trzy załogi, z których tylko pierwsza (pobyt na pokładzie trwał 1 miesiąc) oraz trzecia (pobyt 2,5 miesiąca) zajmowała się, prócz innych zadań, fotografowaniem Ziemi. W laboratorium kosmicznym SKYLAB pracowało łącznie pięć systemów fotografujących, z pośród których dla geografów większe znaczenie posiadały tylko trzy następujące systemy:

- pierwszy system tworzył układ multispektralnych kamer S - 190 z ogniskową 150 mm. Kamery rejestrowały poszczególne zakresy widma na cztery czarno-białe taśmy filmowe (zakresy 0,5-0,6 um, 0,6-0,7 um, 0,7-0,8 um i 0,8-0,9 um), na jedną kolorową (0,4-0,7 um) oraz na jedną spektrozonalną (0,5-0,88 um). Uzyskane w ten sposób zdjęcia

mają zdolność rozdzielczą 36 m, format 6 x 6 cm i obejmują obszar powierzchni zawarty w kwadracie 174 x 174 km, skala ich wynosi 1:2 900 000.

- drugi system wykonywania zdjęć stanowiła kamera Hycon z ogniskową 460 mm i możliwością zastosowania dowolnego rodzaju filmu. Kamera była przeznaczona do kartowania topograficznego i posiadała fantastyczną zdolność rozdzielczą wynoszącą 12 m. Szczegółowość zdjęć jest tak duża, że na przykład, na zdjęciu lotniska wykonanego z wysokości ponad 400 km można odróżnić nie tylko poszczególne samoloty, ale również widoczne jest ich usytuowanie oraz konfiguracja skrzydeł. Oryginalny wymiar zdjęć wynosi 12 x 12 cm, przy czym obejmują one powierzchnię 109 x 109 km w skali 1:945 000.

- trzeci system przeznaczony do wykonywania zdjęć stanowiło trzynastokanałowe urządzenie multispektralne rozkładowe MSS. Pracowało ono w podobny sposób jak w ERTS 1, ale oczywiście na większej ilości zakresów fal. Pierwszych dwanaście kanałów pokrywało w sposób ciągły pasmo 0,41-2,35 um, trzynasty kanał był przeznaczony do rejestracji termalnego promieniowania w zakresie 10,2-12,5 um. Specyfika tych zdjęć polegała na tym, że powstawanie obrazu przebiegało, zamiast w równoległych rzędach prostopadłych do kierunku lotu, w rzędach półkolistych, w wyniku czego szerokość rzędu była ciągle jednokowa. Zdolność rozdzielcza była taka sama jak w wypadku ERTS 1-80 m. W porównaniu z poprzednio omawianymi układami, które dawały obrazy wprost na błony fotograficzne, w tym układzie dane z przeszukiwacza multispektralnego przekształcano do postaci numerycznej a następnie utrwalano na taśmie magnetycznej. Dwa pozostałe systemy (scatterometr radarowy oraz radiometr mikrofalowy) miały z punktu widzenia geografii dużo mniejsze znaczenie.

W przyszłości przewiduje się wprowadzenie na orbitę okołoziemską następnych laboratoriów podobnych do SKYLAB-u. W 1980 r. USA mają zamiar wystrzelić laboratorium kosmiczne z dziewięcioma albo i więcej specjalistami na pokładzie, których zadaniem między innymi będzie wykonywanie fotografii powierzchni Ziemi z zakładaną zdolnością rozpoznawczą aż 3 m. Jest to jednak dość odległy termin, ale już dzisiaj pozostaje do dyspozycji spora ilość materiałów satelitarnych. Z uwagi na to, że zdjęcia z ERTS 1 oraz częściowo też ze SKYLAB-u pokrywają również obszar naszego kraju, byłoby korzystne zaopatrzyć się w te materiały i stwierdzić w jakim stopniu można je w naszych warunkach zastosować. Informacji o ich geograficznej przydatności z dobrze znanych i szczegółowo skartowanych rejonów Europy Środkowej

jest dotychczas niewiele i trzeba wpierw określić, które zdjęcia i do jakich celów najlepiej się nadają. Dopiero wówczas celowe będzie zastosowanie zdjęć satelitarnych na szerszą skalę i włączenie ich pomiędzy stałe pomoce praktyki geograficznej.

Tłum. A.J. Jankowski

L I T E R A T U R A

1. Approaches to earth survey problems through use of space techniques, Proceedings of the symposium held in Constance 23-25 V 1973, Berlin (akademia Verlag) 1974.
2. B a n n e r t D., M ü h l f e l d R., 1973 ERTS und SKYLAB - zwei erdumkreisende Erdforschung-Systems, Bildmes - sung und Luftbildwesen, nr 41/4, s. 113-122.
3. B o d e c h t e l J., G i e r l o f f - E m d e n H.G., 1970, Weltraumbilder der Erde, München , s. 176.
4. C a n b y T.Y., 1974 SKYLAB, outpost on the frontier of spa - ce, National Geographic nr 146/4, s. 441-493.
5. D o y l e F.J., 1972, Can satellite photography contribute to topo - graphic mapping?, World Cartography, nr 12, s. 93-100.
6. G r e g o r y A.P., 1971, Earth-observation satellites: a poten - tial impetus for economical and social development, World Cartogra - phy 11 1-15.
7. N a u m e i s t e r H., 1972, Das Wetter aus kosmischer Sicht, Gotha-Leipzig, 1972, s. 164.
8. P o u q u e t J., 1974, Earth sciences in the age of the satellite, Dudrecht-Boston, s. 169.
9. S t a m s W., 1972, Vom Luftbild zum Weltraumbild, Technische Entwicklung und geowissenschaftliche Bedeutung, Geographische Berichte, nr 17, 3/4, s. 257-292.
10. S t e i n e r D., 1971, Towards earth resources satellites: the american ERTS and SKYLAB programs, Photogrammetria, nr 27/6, s. 211-251.

11. V i n o g r a d o v E.V., K o n d r a t j e v K.J., 1971,
Kosmiczeskie metody zcmlevedenia, Leningrad, s. 190.
12. V o l k o v V.N. i inni, 1972, Issledowania prirodnoj sredy s
pilotirujemych orbitalnych stancji, Leningrad, s. 398.

Richard Čapek

SATELLITARIAN PHOTOGRAPHY FOR GEOGRAPHIC PURPOSES

S u m m a r y

Up to the end of 1974 there have been brought into the Earth orbit a total of 1716 satellites. Many of them have made pictures of the Earth-surface. Most of them revolved round the Earth on elliptic tracks nearing the form of circles. Depending on the position of the track or course in relation to the surface of the equator we do distinguish three kinds of tracks: the equatorial, the subpolar and the obliquely one.

Along the equatorial tracks there move the ATS satellites which, from a distance of several tenth of thousands kilometres, make at once pictures of almost the half of the Earth-surface. These are the so called global pictures made at a scale of 1:10 000 000 or smaller ones. The subpolar track constitutes with the surface of the equator an angle of about 100%. Satellites move at a distance of several thousand kilometres from the Earth producing the so called regional pictures of a scale from 1:10 000 000 to 1:1 000 000. Besides many meteorologic satellites there revolve round the Earth, on the tracks of that type, also satellites of the ERTS type. The oblique track has in relation to the surface of the equator an incline from 30° - 50° and its distance from the Earth amounts basically to several hundreds of kilometres. This track is normally used by space ships with a human crew (Gemini, Skylab) which produce the so called local pictures at a scale of 1:1 000 000 or bigger ones.

From the point of view of a geographer the highest value have the pictures originating from the ERTS 1 satellite put into a round the Globe orbit in the year of 1972, and from the space laboratory SKY - LAB which worked in the year of 1973-1974.