

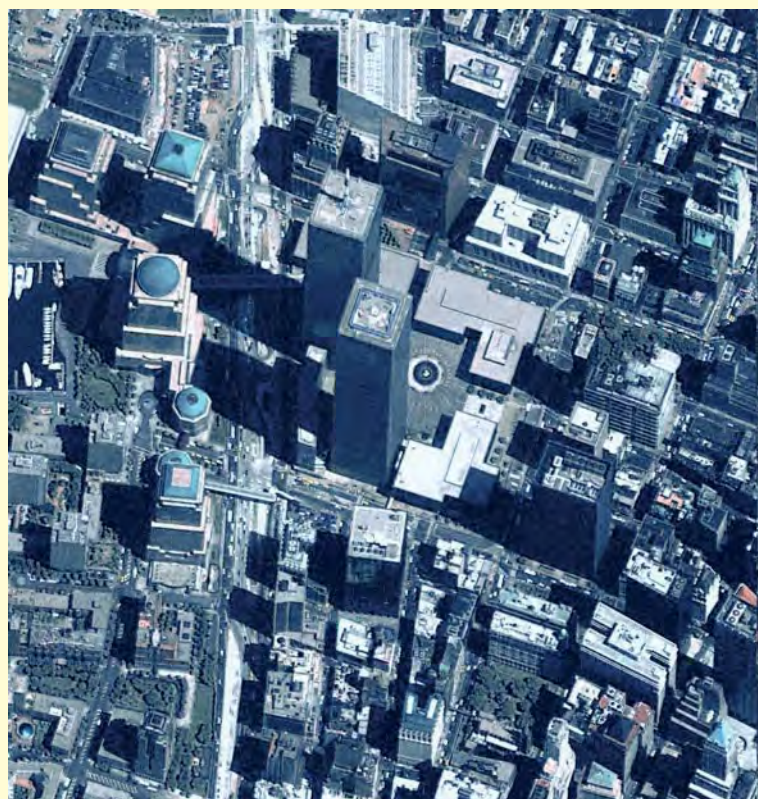
**ZDZISŁAW KURCZYŃSKI,
WIESŁAW WOLNIEWICZ**

Rozwój technicznych środków obrazowania satelitarnego na naszych oczach ulega gwałtownemu przyspieszeniu, co prowadzi do przewartościowania pojęć w tym zakresie. Trudno byłoby dziś znaleźć fachowe czasopismo o zasięgu międzynarodowym, w którym nie publikowano by takich obrazów. Serwisy internetowe podają bogactwo szczegółów, katalogi produktów, cenniki. Potencjalny użytkownik może czuć się przytłoczony nadmiarem reklamy przemieszanej z rzetelną informacją. Rodzą się pytania: jak rozumieć przedstawiane parametry? Jaki jest faktyczny potencjał kartograficzny wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych? Co i według jakich kryteriów wybierać? Jak porównywać nowe zobrazowania z do-
brze znanymi zdjęciami lotniczymi?

● Krótka historia

Na początku lat 90. Rosja komercyjnie udostępniła dane z satelitarnego systemu z kamerą fotograficzną KFA-1000 o terenowej zdolności rozdzielczej 5-10 m – pierwotnie przeznaczonego dla wywiadu militarnego. W 1992 r. umożliwiono obrót zdjęciami satelitarnymi pozyskiwanymi kamerami KVR-1000 i KFA-3000 o terenowej zdolności rozdzielczej 2-3 m. Tak rozpoczął się trwający do dzisiaj wyścig.

W marcu 1994 r. prezydent Stanów Zjednoczonych wydał dyrektywę nr 23 otwierającą drogę do rozwoju komercyjnych systemów satelitarnych umożliwiających obrazowanie powierzchni Ziemi z pikselem terenowym 1 m. Powstały konsorcja stawiające sobie za cel zbudowanie takich systemów: EarthWatch, OrbImage, Space Imaging i ImageSat Int. Zostały zaangażowane potężne środki finansowe oraz potencjał badawczy i produkcyjny, pracujący do niedawna na potrzeby wojska. Zaczęto publikować parametry techniczne budowanych systemów oraz przewidywane terminy umieszczenia ich na orbicie. Zapowiadano bardzo szybki, łatwy i tani dostęp do obrazów i produktów pochodnych, co miało wykreować całkowicie nowe obszary wykorzystania obrazów i rozwój GIS. Mimo rozbudzonych oczekiwań środowiska tak się jednak nie stało, przynajmniej nie w zapowiadanim tempie. Najpierw wielokrotnie przekładano terminy wystrzelenia systemów, później nastąpiła seria nieudanych startów (w grudniu 1997 r.



Wysokorozdzielcze systemy ob

Piksel ponizej

EarthWatch utracił satelitę EarlyBird-1, w kwietniu 1999 r. Space Imaging satelitę IKONOS-1, w listopadzie 2000 r. EarthWatch – QuickBird-1). Długo oczekiwany przełom przyniosło dopiero umieszczenie na orbicie satelity IKONOS-2 (24 września 1999r.), który był pierwszym i przez 2 lata jedynym komercyjnym źródłem obrazów z „metrowym” pikselem.

Jednak początkowa euforia przerodziła się w wątpliwości. Polityka firmy Space Imaging – właściciela IKONOS-a – była zorientowana na sprzedaż gotowych, wysokoprzetworzonych produktów, a nie „surowych” obrazów. Przejawiało się to niedostępnością zarówno nieprzetworzonych obrazów stereoskopowych, jak i modelu geometrycznego kamery oraz parametrów orbity, co oznaczało istotne ograniczenie możliwości samodzielnego



Manhattan przed i po 11 września 2001 r.; system IKONOS-2

rozowania satelitarnego, cz. I

schodzi

metra

opracowania danych. Wbrew pierwotnym zapowiedziom ceny obrazów, a tym bardziej produktów, okazały się znacznie wyższe od cen drobnoskalowych zdjęć lotniczych. Sytuacja ta była wynikiem braku gry rynkowej.

Tymczasem w grudniu 2000 r. władze amerykańskie wydały licencje dla Space Imaging i EarthWatch na operowanie komercyjnymi systemami obrazowania satelitarnego z terenowym pikselem do wielkości 0,5 m (!). 18 października 2001 r. konsorcjum DigitalGlobe (dawniej EarthWatch) umieściło na orbicie drugi „metrowy” system satelitarny – QuickBird-2 obrazujący z pikselem 0,61 m i zapowiedziało nieograniczony dostęp do parametrów kamery i orbity, co ułatwi samodzielne opracowywanie „surowych” obrazów. Wcześniej, bo 5 grudnia 2000 r., na orbicie został umieszczony

ny system EROS-A1 firmy ImageSat Int. obrazujący w zakresie panchromatycznym z pikselem 1,8 m (a już zapowiadany jest system EROS-B z pikselem „metrowym”). Jeszcze w tym roku na orbicie mają się znaleźć satelity OrbView-3 i OrbView-4 firmy OrbImage obrazujące z pikselem terenowym 1 m.

W świetle tych faktów uzasadnione jest stwierdzenie, że dopiero teraz wchodzimy w erę komercyjnie dostępnych wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. Zwiększona podaż już spowodowała wzbogacenie zakresu proponowanych usług i obniżyła ceny. Trudno byłoby dziś znaleźć fachowe czasopismo o zasięgu międzynarodowym, w którym nie publikowano by takich obrazów. Serwisy internetowe podają bogactwo szczegółów, katalogi produktów, cenniki. Potencjalny użytkownik może czuć się przytłoczony nadmiarem reklamy przemieszanej z rzetelną informacją. Rodzą się pytania: jak rozumieć przedstawiane parametry? Jaki jest faktyczny potencjał kartograficzny wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych? Co i według jakich kryteriów wybierać? Jak porównywać nowe zobrazowania z dobrze znanymi zdjęciami lotniczymi?

Sytuację dodatkowo komplikuje jeszcze powstanie cyfrowej kamery lotniczej. Spróbujmy więc uporządkować obiegowe pojęcia i odróżnić informacje od „szumu”.

● Charakterystyka systemów

Podstawowe dane techniczne komercyjnych wysokorozdzielczych systemów satelitarnych podaje tabela 1. Mimo iż różnią się one w szczegółach, mają jednak wiele cech wspólnych o zasadniczym znaczeniu dla ich użyteczności i odróżniających je od rozwiązań znanych wcześniej:

1. Satelity są umieszczane na kołowych orbitach heliosynchronicznych, tj. nachylonych do płaszczyzny równika pod kątem około 98°. Taka okołobiegunowa orbita zapewnia stały kąt między płaszczyzną orbity a kierunkiem na Słońce. Oznacza to przejście satelity przez dany obszar zawsze w tym samym czasie lokalnym, a w konsekwencji – obrazowanie w porównywalnych warunkach oświetleniowych (przy tym samym azymucie Słońca).
2. Trajektoria satelity oraz elementy orientacji kamery rejestrowane są z dużą częstotliwością i dokładnością. Uzyskiwana precyzja pomiaru tych elementów pozwala dla drobniejszych skal opracowywać obrazy bez znajomości punktów geodezyjnych (tzw. fotopunktów).
3. System obrazowania działa na zasadzie skanera elektrooptycznego. W płaszczyźnie ogniskowej układu optycznego umieszczona jest linijka detektorów (CCD) dająca linię obrazu poprzeczną do kierunku orbity; obraz w kierunku orbity tworzy się w sposób ciągły, w wyniku ruchu satelity. O zdolności rozdzielczej decyduje wysokość orbity, ogniskowa układu optycznego i wymiary samych pikseli (w tzw. systemie metrowym terenowy wymiar piksela jest bliski 1 m.)
4. W płaszczyźnie ogniskowej znajduje się zwykle linijka detektorów rejestrująca w zakresie widzialnym (tryb panchromatyczny) oraz linijki rejestrujące w wąskich podzakresach spektrum, zwykle niebieskim, zielonym, czerwonym i podczerwonym (tryb wielospektralny). Regułą jest, że rozdzielczość w trybie wielospektralnym jest gorsza – piksel jest zwykle 4 razy większy.
5. Systemy charakteryzują się dużą rozdzielczością radiometryczną, tj. zdolnością rozróżniania wielkości odbicia obiektów naziemnych. Zdolność tę opisuje tzw. zakres dynamiczny, np. 11-bitowy oznacza możliwość rozróżnienia $2^{11} = 2048$ poziomów szarości (dla porównania, tradycyjne zdjęcia fotograficzne mają zakres

System Konsorcjum	IKONOS-2 Space Imaging		QuickBird-2 Digital Globe		EROS-A1 ImageSat Int.		EROS-B ImageSat Int.		OrbView-3 OrbImage	
Data umieszczenia na orbicie	24.09.1999		18.10.2001		5.12.2000		w planie		w planie	
Wysokość orbity	681 km		450 km		480 km		600 km		460 km	
Typ sensora	linijka CCD		linijka CCD		linijka CCD		linijka CCD		linijka CCD	
Szerokość obrazowanego pasa	11 km		16,5 km		12,7 km		13 km		8 km	
Tryb pracy	PAN	MS	PAN	MS	PAN	MS	PAN	MS	PAN	MS
Liczba pikseli w linii	13 816	?	27 632	6 856	7 043	–	20 000	?	8 000	?
Wymiar piksela (nadir)	0,82 m	3,28 m	0,61 m	2,44 m	1,8 m	–	0,8 m	?	1,0 m	4,0 m
Zakres spektralny	0,45-0,90	0,45-0,53 0,52-0,61 0,64-0,72 0,77-0,88	0,45-0,90	0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,50-0,90	–	0,50-0,90	niebieski zielony czerwony IR	0,50-0,90	0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90
Rozdzielczość radiometryczna	11 bitów		11 bitów		11 bitów		10 bitów		8 bitów	
Wchylenie układu opt.										
– wzdłuż orbity	±45°		±30°		±45°		±45°		±45°	
– w poprzek orbity	±45°		±30°		±45°		±45°		±45°	

Tabela 1. Komercyjne wysokorozdzielcze systemy satelitarne

około 6 bitów, co odpowiada rozróżnieniu $2^6 = 64$ poziomów szarości).

6. Układ optyczny może być wychylany w dużym przedziale kątowym w przód, wstecz oraz na boki. Oznacza to, że stosunkowo wąski pas obrazowania jest wybierany z szerokiego pasa terenu, nad którym przelatuje satelita. Ma to podstawowe znaczenie dla operatywności systemu, można bowiem „zaprogramować” seans obrazowania z danej orbity, tak aby wybrać tylko interesujące nas obszary, a spośród nich te, które w danym momencie nie są pokryte chmurami. Możliwość wychylenia układu „na boki” skracza tzw. okres rewizyty.

Możliwość wychylenia układu optycznego wprzód i wstecz umożliwia tzw. stereoskopię z jednej orbity. System obrazuje dany obszar dwa razy: wychylając układ „do przodu” i „wstecz” z opóźnieniem kilkudziesięciu sekund (rys. 1). W rezultacie otrzymuje się parę stereo o bardzo dobrych warunkach pomiaru wysokości. Ten sposób ma zdecydowaną przewagę nad stereoskopią „z sąsiednich orbit” stosowaną w satelitach SPOT i IRS. W ich przypadku obrazy stereo otrzymuje się poprzez wychylenie układu w poprzek i obrazowanie z sąsiednich orbit. Jednak przejście przez te orbity następuje w różnych terminach i w obu przypadkach muszą jednocześnie zaistnieć sprzyjające warunki pogodowe, co znacznie zmniejsza szanse na dobrą stereoskopię. Alternatywą dla stereoskopii jest możliwość jednoczesnego obrazowania więcej niż jednego pasa terenu. Pozwala to istotnie

zwiększyć szerokość obszaru obrazowanego podczas przejścia satelity (rys. 2).

7. Operatorzy komercyjni zakładają umieszczenie na orbitach kolejnych satelitów, co wydłuży żywotność tych systemów do wielu lat. Towarzyszy temu sprawna sieć dystrybucji obrazów radykalnie skracająca ich drogę do użytkownika. Bogata jest oferta przetwarzania obrazów na produkty kartograficzne o różnej skali i dokładności geometrycznej.

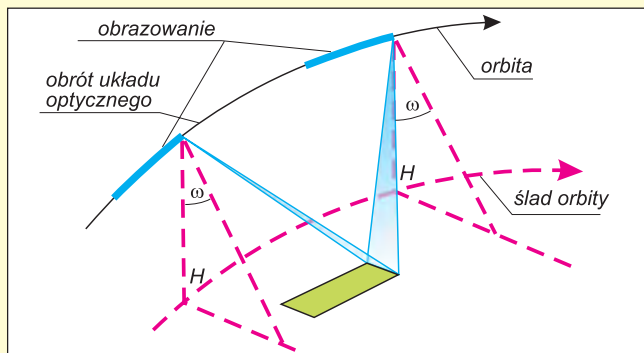
● Produkty

Typowe produkty wysokorozdzielczych systemów satelitarnych:

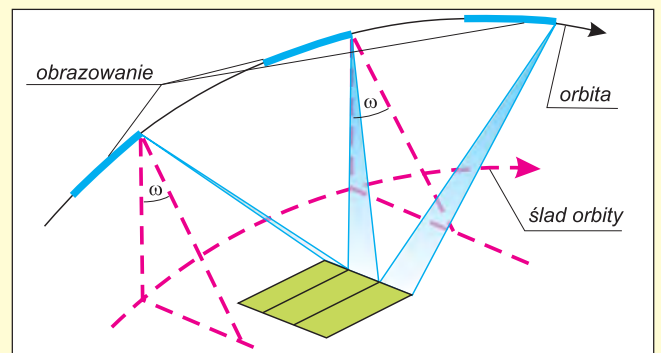
■ „Surowe” obrazy – zwykle po wstępnej korekcji geometrycznej i radiometrycznej. Uzupełnione o model geometryczny kamery i parametry orbity nadają się do dalszego opracowania, np. tworzenia ortofotomap czy automatycznej klasyfikacji. W przypadku obrazów stereoskopowych możliwe jest generowanie numerycznego modelu terenu (DTM) lub stereodigitalizacja (prze-strzenny pomiar, np. dla tworzenia mapy wektorowej).

■ Obrazy ortorektyfikowane – przetworzone do wybranej projekcji kartograficznej na wybraną elipsoidę. Pojedyncze obrazy mogą być połączone (mozaikowane), tworząc ciągły obraz większego obszaru.

Produkty te mogą być dostarczane w opcji czarno-białej – jako wynik pracy systemu w trybie panchromatycznym (PAN) lub w opcji barwnej – tryb wielospektralny (MS). Jeżeli system obra-



Rys. 1. Stereoskopia z jednej orbity z wychyleniem układu optycznego wzdłuż i w poprzek



Rys. 2. Obrazowanie kilku pasów terenu z jednego przejścia satelity

zuje w zakresie niebieskim, zielonym, czerwonym i podczerwonym, to możliwe jest wygenerowanie obrazu w barwach rzeczywistych (poprzez złożenie zakresu niebieskiego, zielonego i czerwonego) lub barwnego w podczerwieni (złożenie zakresu zielonego, czerwonego i podczerwonego). Powszechnie stosuje się fuzję produktów w zakresie wielospektralnym i panchromatycznym, dającą obraz barwny „wyostrzony” (ang. *pan-sharpened* – PSM), bo pikselem jak w zakresie panchromatycznym. To właśnie takie obrazy są zwykle prezentowane w publikacjach. Obraz „wyostrzony” można otrzymać w kilku etapach przetwarzania:

- przepróbkowanie obrazu barwnego do rozdzielczości obrazu panchromatycznego,
 - transformacja obrazu barwnego z przestrzeni barwowej RGB (czerwony-zielony-niebieski) do przestrzeni IHS (intensywność-odcień-nасыcenie),
 - zamiana kanału „intensywność” przez obraz panchromatyczny,
 - powrót z przestrzeni IHS do RGB.
- Takie produkty nie są jednak przydatne do automatycznej klasyfikacji.

● IKONOS-2 (Space Imaging)

Satelita został umieszczony na orbicie 24 września 1999 r., a już 12 października opublikowano wykonany przez niego obraz Waszyngtonu. Wkrótce też przeszedł on z fazy testowania w operacyjną. Podstawowe parametry orbity i kamery przedstawione są w tabeli 1. Sercem systemu obrazowania jest teleskop o ogniskowej 10 m (!) zbudowany przez firmę Kodak. Zastosowanie 3 zwierciadeł ogniskujących i 2 płaskich umożliwiło skrócenie fizycznej długości teleskopu do około 2 m. W płaszczyźnie ogniskowej znajduje się linijka detektorów CCD obrazująca w zakresie panchromatycznym (złożona z 13 816 elementów) oraz dodatkowo 4 linijki pracujące w zakresie wielospektralnym. Umożliwia to



obrazowanie 11-kilometrowego pasa z terenowym wymiarem piksela 0,82 m w nadirze. System ma pokładowy rejestrator o pojemności 64 GB, który pozwala na zapisanie 26 pełnych scen zarówno w zakresie PAN, jak i MS. Dane te są przesyłane do stacji naziemnych w Fairbanks (Alaska) i Tromsø (północna Norwegia). Dodatkowo istnieje sieć naziemnych stacji odbierających dane w czasie bezpośredniego zasięgu. Polska znajduje się w zasięgu stacji położonej w Turcji i należącej do Space Imaging Eurasia.

Space Imaging oferuje dwie główne grupy produktów: Geo i Geo OrthoKit.

■ **Geo** – to obraz z usuniętą dystorsją związaną z procesem obrazowania, doprowadzony geometrycznie do wybranej projekcji kartograficznej na wybraną elipsoidę i przepróbkowany do znormalizowanego piksela. Produkty te mogą być dostarczone jako czarno-białe z pikselem 1 m (1 m PAN), barwne z pikselem 4 m (4 m MS) lub barwne „wyostrzone” z pikselem 1 m (1 m PSM). Dokładność wyrażoną poprzez błąd średni położenia szacuje się na $m_p = 25$ m. Ocena ta nie uwzględnia dodatkowych zniekształceń z powodu deniwelacji terenowych.

Produkt	Pan-chromatyczny 1 m (PAN)	Wielospektralny 4 m (MS)	Barwny „wyostrzony” 1 m (PSM)	Bundle (PAN + MS)
Geo – odbiór przez Space Imaging Eurasia (Turcja)	30	30 (<1000 km ²) 25 (>1000 km ²)	36	40
Geo – odbiór przez Space Imaging Inc. (USA)	25	18	27,50	37,50
Reference	35/62	35/62	41/68	45/72
Pro	50/87	50/87	56/93	60/97
Precision	102	102	108	112
Precision Plus	122	–	128	–
Reference Stereo	85	–	90	–
Precision Stereo	95	–	100	–
ITM 5c	70	–	–	–
ITM 5e	100	–	–	–

Uwagi: 1. Produkty Geo oferowane przez SI Eurasia zawierają model geometryczny obrazu w formie współczynników wielomianu ilorazowego (RPC). Ceny obrazów archiwalnych o 20% niższe.
2. Produkty Precision, Precision Plus, Precision Stereo i ITM 5e wymagają dostarczenia fotopunktów, pozostałe – nie.
3. Wytworzenie produktów Reference, Pro, Precision, Precision Plus wymaga DTM; dla Reference i Pro DTM może dostarczyć zamawiający (cena produktu po lewej stronie kolumny), dla pozostałych DTM dostarcza SI Eurasia.
4. Bundle: produkty PAN i MS pozyskane w tym samym czasie dla tego samego rejonu.
5. Ceny dotyczą licencji dla pojedynczego użytkownika; dla 2-3 użytkowników: + 30%, dla 4-10 użytkowników: + 60%
6. Minimalne zamówienie: nowe produkty – 100 km², archiwalne – 80 km²

Tabela 2. Ceny produktów IKONOS w dol./km² (wg Space Imaging Eurasia, maj 2002 r.)

■ **Geo OrthoKit** – to nieprzetworzony obraz z kompletem informacji o modelu geometrycznym kamery i trajektorii satelity. Jest to zestaw zalecany użytkownikom samodzielnie realizującym opracowania fotogrametryczne i ortorektyfikację z wykorzystaniem własnego Numerycznego Modelu Terenu (DTM). Taki produkt proponuje kilku dystrybutorów; do kwietnia br. był w ofercie SI Eurasia.

W grupie Orthorectified oferowane są ortoobrazy lub ich mozaiki przetworzone do rzutu ortogonalnego w wybranej projekcji kartograficznej na wybraną elipsoidę różniące się dokładnością (4 klasy):

- **Reference** – średni błąd położenia $m_p = 12$ m, co oznacza spełnienie wymagań dokładnościowych dla map wskaźni 1:50 000 (wg standardu NMAS – National Map Accuracy Standard, obowiązującego w USA),
- **Pro** – $m_p = 5$ m, co odpowiada skali 1:10 000,
- **Precision** – $m_p = 2$ m, 1:5000,
- **Precision Plus** – $m_p = 1$ m, 1:2500.

W grupie Orthorectified znajdują się również produkty IKONOS Stereo o dwóch poziomach dokładności:

- **Reference Stereo** – $m_p = 12$ m i błąd wysokości $m_z = 13$ m,
- **Precision Stereo** – $m_p = 1$ m i $m_z = 2$ m

Oprócz produktów obrazowych proponuje się również Numeryczny Model Terenu ITM-1 (IKONOS Terrain Model-1) w dwóch standardach: ITM-5c w siatce 1” (ok. 30 m) o dokładności $m_p = 12$ m i $m_z = 7$ m oraz ITM-5e w siatce 0,2” (ok. 6 m), $m_p = 6$ m i $m_z = 2$ m. Tabela 2 przedstawia ceny wybranych produktów IKONOS-a.

● QuickBird-2 (DigitalGlobe)



Satelita QuickBird-2 umieszczony na orbicie 18 października 2001 r. stał się drugim – po IKONOS-ie – źródłem obrazów „metrycznych”. Jego pierwsze sceny panchromatyczne i barwne (Waszyngton i Bangkok) opublikowano już 17 grudnia. System jest na etapie testowania,

Produkt	Pan-chromatyczny (PAN)	Wielospektralny (MS)	Barwny „wyostrzony” (PSM)	Bundle (PAN + MS)
Basic Imagery – min. zamówienie 1 scena (272 km ² w nadirze)	22,50	25	nie dotyczy	30
Standard Imagery – min. zamówienie 64 km ² (25 km ² dla obrazów archiwalnych)	22,50	25	30	30
Orthorectified (min. 64 km ²)				
1:50 000	35	+ 50%	+ 25%	–
1:25 000	45	+ 50%	+ 25%	–
1:24 000	45	+ 50%	+ 25%	–
1:12 000	60	+ 50%	+ 25%	–
1:10 000	70	+ 50%	+ 25%	–

Uwagi: 1. licencja dla pojedynczej organizacji dla wielu organizacji: do 10 dodatkowych organizacji + 25% ponad 10 dodatkowych organizacji do negocjacji
 2. czas realizacji zamówienia standard (> 14 dni) cenę jw. priorytet (≤ 14 dni) + 50%
 3. dla produktów ortorektyfikowanych zamawiający dostarcza DTM i fotopunktę
 4. produkty ortorektyfikowane będą dostępne po wejściu systemu w fazę operacyjną (lipiec 2002 r.)
 5. przed wejściem systemu w fazę operacyjną produkty oferowane są po promocyjnych cenach

Tabela 3. Ceny produktów QuickBird w dol./km² (wg Eurimage, maj 2002 r.)

w fazę operacyjną ma wejść w lipcu br. Polityka dystrybucyjna DigitalGlobe zakłada nieograniczony dostęp do parametrów kamery i orbity. Zostały już przedstawione wstępne cenniki. Jak wynika z tabeli 1, system ten w zakresie panchromatycznym obrazuje w nadirze z pikselem terenowym równym 0,61 m w pasie o szerokości 16,5 km. Przy wychyleniu układu optycznego na boki ten wymiar i szerokość nieco wzrastają (np. dla wychylenia 25° – 0,72 m). Obecnie jest to system komercyjny o najwyższej zdolności rozdzielczej. Osiągnięto ją, zmieniając wysokość orbity: z planowanych pierwotnie 600 km na 450 km (wkrótce po uzyskaniu licencji na operowanie pikselem półmetrowym). Odbyło się to kosztem zwięzienia pasa obrazowania (z 22 do 16,5 km) i zmniejszenia wydajności obrazowania. Teleskop układu optycznego ma ogniskową odległości 8,78 m i został zbudowany przez Bell Aerospace. Linijka CCD rejestrująca w zakresie panchromatycznym ma długość odpowiadającą 27 632 elementom. Ponieważ tak długie linijki nie są obecnie produkowane, w płaszczyźnie ogniskowej umieszczono 3 krótsze (ponad 9000 elementów każda). System pozyskuje więc 3 pasy obrazu z niewielkim podwójnym pokryciem, z których po wstępnej obróbce generuje się jeden pas ekwiwalentny (podobną koncepcję wykorzystuje się w satelitach EROS-A i IRS).

Obrazy rejestrowane na pokładowych nośnikach są przesyłane do dwóch stacji: w Fairbanks i Tromsø. „Północne” położenie obu stacji powoduje, że każda orbita satelity znajduje się w zasięgu jednej z nich, umożliwiając przekaz zarejestrowanych danych. Dane przesyłane są następnie specjalną magistralą do centrum przetwarzania w Longmont koło Denver (Kolorado). Nie przewiduje się budowy sieci naziemnych stacji odbiorczych, co wynikać może m.in. z konieczności dość złożonego przetwarzania wstępnego danych.

DigitalGlobe planuje trzy poziomy przetwarzania:

■ **podstawowy (Basic Imagery)** – „surowe” obrazy są skorygowane radiometrycznie i po wstępnej korekcji geometrycznej błędów kamery (ale bez przetworzenia do projekcji kartograficznej). Wymiar piksela jest zgodny z oryginałem, tj. zmienia się w obrębie pola widzenia: dla obrazów panchromatycznych

nych od 0,61 m w nadirze do 0,72 m przy wychyleniu o 25°.

■ **standardowy (Standard Imagery)** – obrazy są dodatkowo doprowadzone do wybranej projekcji kartograficznej na wybraną elipsoidę. Mają znormalizowany wymiar piksela: 0,7 m dla obrazów PAN i PSM oraz 2,8 m – dla MS. Produkty uzyskuje się z wykorzystaniem danych pokładowych (tj. bez fotopunktów), a ich dokładność charakteryzuje się średnim błędem położenia $m_p = 14$ m, powiększonym o ewentualny wpływ rzeźby terenu.

■ **ortorektyfikowany (Orthorectified Imagery)** – obrazy mają podwyższoną dokładność geometryczną dzięki wykorzystaniu fotopunktów i ortorektyfikacji z zastosowaniem DTM (usunięty wpływ rzeźby). Stopień rektyfikacji może być różny, tak aby spełnić wymagania map w skali od 1:50 000 do 1:10 000 (wg standardu NMAS). Sceny ortorektyfikowane będą dostępne dopiero w drugiej połowie 2002 r.

Wszystkie obrazy będą dostarczane z precyzyjną informacją o wysokości i trajektorii satelity, elementach kątowych nachylenia kamery i jej modelu geometrycznym. Tabela 3 prezentuje wstępne ceny produktów QuickBird.

● EROS-A1 (ImageSat International)



Interesującą alternatywą dla obu opisanych „metrowych” rozwiązań może być system EROS-A1 (Earth Remote Observation Satellite) umieszczony na orbicie 5 grudnia 2000 r., będący kopią izraelskiego wojskowego systemu

Ofeq 3. W kilka dni później odebrano pierwsze obrazy, a 18 stycznia 2001 r. je opublikowano.

EROS jest bardzo lekki, waży zaledwie 250 kg. Operuje na orbicie heliosynchronicznej o wysokości 480 km. Dwie linijki detektorów CCD mają łącznie 7043 elementy, co daje obraz pasa terenu o szerokości 12,5 km z pikselem 1,8 m (w nadirze). Układ optyczny może wychylać się poprzecznie o kąt 45°. System obrazuje tylko w zakresie panchromatycznym. Nie ma zapisu pokładowego, co oznacza odbiór danych tylko w bezpośrednim zasięgu sieci naziemnych stacji odbiorczych. Przewiduje się rozbudowę systemu o następne satelity. Jednocześnie pojawiają się zapowiedzi uruchomienia EROS-B, który z orbity odległej od Ziemi o 600 km będzie obrazował pas terenu o szerokości 13 km z pikselem 0,8 m. System ten ma mieć również możliwość obrazowania wielospektralnego (w zakresie widzialnym i podczerwieni). Oferowane są obrazy surowe (poziom 0A), skorygowane radiometrycznie (1A) i skorygowane geometrycznie z wykorzystaniem zarejestrowanych danych pokładowych i modelu kamery (1B). Jedna scena (12,5 x 12,5 km) kosztuje 1500 dolarów, a para stereoskopowa – 3000. Obrazy archiwalne można nabyć za połowę ceny.

Cdn.

Dr Zdzisław Kurczyński i dr Wiesław Wolniewicz są pracownikami naukowo-dydaktycznymi w Instytucie Fotogrametrii i Kartografii Politechniki Warszawskiej