

PAWEŁ PĘDZICH, KAMIL LATUSZEK
Zakład Kartografii Politechniki Warszawskiej
ppedzich@gik.pw.edu.pl
kamil.latuszek@wp.pl

Kartografia planetarna – historia, dane źródłowe, metodyka

Z a r y s t r e ś c i. Artykuł ma charakter przeglądowy i jest pierwszym z cyklu dwóch artykułów przybliżających problematykę z zakresu kartografii planetarnej. Przedstawiono w nim m.in. zarys historii map ciał niebieskich, poczynając od pierwszych map Księżyca opracowanych na podstawie obserwacji teleskopowych, po współczesne mapy wykonywane z wykorzystaniem sond kosmicznych, scharakteryzowano podstawowe źródła danych oraz przedstawiono rozwój metod ich pozyskiwania, opisano najważniejsze misje kosmiczne, od pionierskich wypraw radzieckich po współczesne badania Marsa i asteroid; przedstawiono również wybrane aspekty metodyki opracowania map obiektów pozaziemskich.

S ł o w a k l u c z o w e: mapy planet, mapy księżyców, mapy asteroid, historia kartografii planetarnej, misje kosmiczne

1. Wstęp

Kartografia planetarna jest jednym z intensywniej rozwijających się kierunków badań w kartografii. Zajmuje się opracowaniem map obiektów pozaziemskich takich jak planety, naturalne satelity planet, asteroidy¹ i komety. Mapy te, wykonywane na podstawie danych pozyskiwanych poprzez coraz bardziej zaawansowane technologicznie instrumenty, pozwalają na odkrywanie oraz szczegółowe badanie zupełnie dotychczas nieznanymi człowiekowi obiektów i zjawisk występujących daleko poza naszą planetą. Sondy kosmiczne wyposażone w laboratoria naukowo-badawcze lądują na powierzchni innych planet oraz docierają do najdalszych zakątków Układu Słonecznego. Wysyłają na Ziemię ogromną ilość

danych, które następnie są przetwarzane i udostępniane w postaci map różnego rodzaju: albedo², topograficznych, geologicznych, geomorfologicznych itp. Od lat w Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej działa Komisja Kartografii Planetarnej zajmująca się badaniami z tego zakresu oraz popularyzacją tej dziedziny kartografii. Skupia nie tylko osoby profesjonalnie zajmujące się opracowaniem map ciał niebieskich, ale przede wszystkim wielu pasjonatów z całego świata, dla których odkrywanie kosmosu jest ich pasją.

W tym i następnym artykule autorzy przedstawiają problematykę kartografii planetarnej. Pierwszy artykuł zawiera krótki rys historyczny kartografii planetarnej oraz charakterystykę wybranych misji kosmicznych w kontekście pozyskiwania danych do opracowań kartograficznych, a także omówienie wybranych aspektów metodycznych opracowań kartograficznych. W kolejnym artykule autorzy opiszą opracowania kartograficzne, jakie wykonuje się na świecie, odwzorowania kartograficzne stosowane do wykonywania map obiektów pozaziemskich oraz nowe wyzwania stojące przed kartografią planetarną.

2. Zarys historii kartografii planetarnej

Pod koniec XVI i na początku XVII wieku wielcy badacze tacy jak Mikołaj Kopernik, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei oraz

¹ Asteroida (planetoida) – małe skaliste lub metaliczne ciało niebieskie krążące wokół Słońca, na ogół nieregularna bryła o średnicy rzędu kilku kilometrów (P. Moore i inni, 2002).

² Albedo w astronomii definiuje się jako stosunek ilości światła odbitego od powierzchni danego ciała niebieskiego do całkowitej ilości światła padającego na nią. Dla ciał Układu Słonecznego głównym źródłem promieniowania, które może zostać odbite, jest Słońce. Albedo przybiera wartości od 0 do 1 (P. Moore i inni, 2002).

Isaac Newton dokonali rewolucji w dziedzinach kosmologii i astronomii. Geocentryczny układ Ptolemeusza, według którego planety poruszają się po kolistych deferentach i epicyklach, został zastąpiony przez układ heliocentryczny Kopernika, w którym planety poruszają się po orbitach eliptycznych według trzech fenomenologicznych praw Keplera, wyjaśnionych za pomocą teorii powszechnego ciężenia Newtona. Okazało się również, że wbrew przypuszczeniom uczonych starożytnej Grecji nie jest prawdą, iż powierzchnia ciał niebieskich (za wyjątkiem Ziemi i Księżyca) jest idealnie jednorodna i gładka (E. Kolb 1996).

Przed wynalezieniem teleskopu wiedza o powierzchni planet bazowała na założeniach teoretyczno-filozoficznych wprowadzonych jeszcze przez Arystotelesa. Według tego filozofa wszechświat podzielony był na dwie części: ziemską i niebiańską. W części ziemskiej wszystkie ciała są zbudowane z czterech elementów: ziemi, wody, powietrza oraz ognia. Ciała niebieskie takie jak Słońce, gwiazdy oraz planety zbudowane są z piątego elementu, zwanego kwintesencją, która jest substancją czystą i doskonałą. Księżyc jako jedyne ciało niebieskie jest na tyle blisko Ziemi, że choć zbudowany jest głównie z kwintesencji, ulega także skażeniu niewielkimi ilościami ziemskich elementów, co wyjaśnia widoczne skazy na jego powierzchni. W przypadku innych ciał nie dało się w czasach antycznych zaobserwować nieregularności ich powierzchni (E. Kolb 1996).

Dokładniejsze zbadanie powierzchni planet umożliwił wynaleziony około 1608 roku w Holandii teleskop. W 1609 roku włoski astronom Galileusz zaczął obserwować niebo własnym teleskopem, dokonując przy tym przełomowych odkryć, opisanych w 1610 r. w dziele pt. *Sidereus Nuncius* (Gwiazdny posłaniec). Astronomowi udało się m.in. zaobserwować cztery spośród księżyców Jowisza (wcześniej nie znano księżyców innych planet niż Ziemia) oraz plamy na powierzchni Słońca. Skazy na powierzchni Księżyca okazały się być szczytami górskimi i kraterami (E. Kolb 1996).

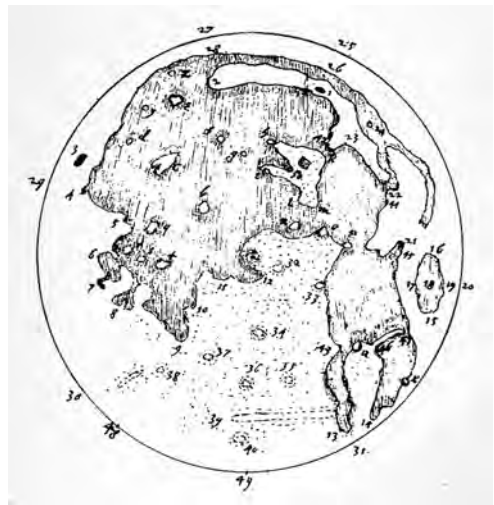
Galileusz wyniki obserwacji Księżyca zamieścił na szeregu prostych rysunków (ryc. 1), które trudno jest nazwać mapami. W 1609 r., a więc rok wcześniej od Galileusza, oxfordzki matematyk Thomas Harriot, na podstawie wykonanych za pomocą lunety obserwacji, opracował mapę (ryc. 2) zawierającą znacznie

więcej szczegółów niż rysunki Galileusza. Dość dokładnie oddaje ona kontury mórz księżycowych, a ponadto jest na niej oznaczonych około 40 kraterów (S. Brzostkiewicz 1970).



Ryc. 1. Rysunki Księżyca wykonane przez Galileusza (źródło: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>)

Fig. 1. Drawings of the Moon by Galileo (source: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>)



Ryc. 2. Mapa Księżyca autorstwa Thomasa Harriota (źródło: http://galileo.rice.edu/sci/harriot_moon.html)

Fig. 2. Lunar map by Thomas Harriot (source: http://galileo.rice.edu/sci/harriot_moon.html)

Teleskop, wraz z później wynalezioną fotografią, był głównym narzędziem służącym do pozyskiwania danych na temat powierzchni planet przed nastaniem ery misji kosmicznych (początek XVII – połowa XX w.). Najczęstszym celem obserwacji był Księżyc, ze względu na jego bliskość i brak własnej atmosfery mo-

gącej zakłócić obserwacje. Holenderski astronom i kartograf Michel Florent van Langren jest autorem pierwszej szczegółowej mapy Księżyca z 1645 roku. Na mapie pokazane zostały „morza” księżycowe, kratery oraz szczyty górskie. Pierwszą mapą, która uwzględniła strefy libracji³ Księżyca, była mapa wykonana przez Jana Heweliusza (ryc. 3) i opublikowana w dziele *Selenographia* w 1647 roku (K. Shingareva i inni 2007, H. Hargitai 2006). Praca ta zawierała m.in. kilkadziesiąt rysunków Księżyca i jego globusów oraz trzy mapy. Na mapach



Ryc. 3. Mapa Księżyca wykonana przez Heweliusza (źródło: <http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=hevelius1647>)

Fig. 3. Hevelius' map of the Moon (source: <http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=hevelius1647>)

tych Heweliusz nadał obiektom księżycowym nazwy zaczerpnięte z geografii Ziemi; są to nazwy gór, zatok i przylądków. On też wprowadził określenie „morza” dla ciemnych, rozległych terenów widocznej strony Księżyca. Nazwy te nie przyjęły się w kartografii Księżyca, a do czasów dzisiejszych dotrwało jedynie siedem (J. Rutkowski 1979).

³ Libracja Księżyca to zjawisko polegające na tym, że punkty powierzchni Księżyca zmieniają swe położenie względem prostej łączącej środek Księżyca z obserwatorem. Libracja jest powodowana eliptycznością orbity Księżyca, nachyleniem osi obrotu Księżyca do płaszczyzny jego orbity, ruchem obrotowym Ziemi i niesferycznością Księżyca (W. Kryszewski 1985).

Z wczesnego okresu rozwoju selenografii warto wymienić za A. Marksem (1969) kilku najwybitniejszych uczonych i ich prace: Tobias Mayer – pierwsze wyznaczenia współrzędnych selenograficznych kilkudziesięciu obiektów na powierzchni Księżyca; Johannes Schröter – pierwsze pomiary jasności obiektów na powierzchni Księżyca; Johannes Mädler – pomiary wysokości 1000 gór i średnicy 150 kraterów, 7755 szczegółów na mapie; Julius Schmidt – atlas składający się z 25 sekcji w skali 1:783 200, w którym oznaczono 32 856 kraterów i podano wysokości 3050 gór; do 1910 r. był to najdokładniejszy atlas Księżyca. Oprócz tego wykonano dziesiątki innych map, atlasów oraz globusów widocznej półkuli Księżyca.

Za twórcę pierwszego globusa Księżyca uznawany jest słynny architekt i astronom angielski Christopher Wren. W połowie XVIII w. interesował się globusami wybitny znawca Księżyca Tobias Mayer, a pod koniec XVIII w. John Russel. Początki masowej produkcji globusów Księżyca sięgają lat trzydziestych XIX wieku. Wiedeński kartograf Riedel von Leuenstern uważany jest za pierwszego producenta globusów księżycowych w sposób przemysłowy. Dawne globusy nie przedstawiały całego Księżyca, a jedynie 3/5 jego powierzchni (półkulę widoczną z Ziemi). Dokładność zmniejszała się w miarę oddalania się od środka tarczy Księżyca (M. Piekuth 1973).

Kolejny ważny okres w rozwoju kartografii Księżyca nastąpił na przełomie XIX i XX wieku, z chwilą zastosowania fotografii do badań astronomicznych. Pierwsze fotograficzne atlasy Księżyca wykonali w latach 1896–1910 w Obserwatorium Paryskim M. Loewy i P. Puisaux i mniej więcej w tym samym czasie w Stanach Zjednoczonych S. Burnham i E. Holden (A. Marks 1969).

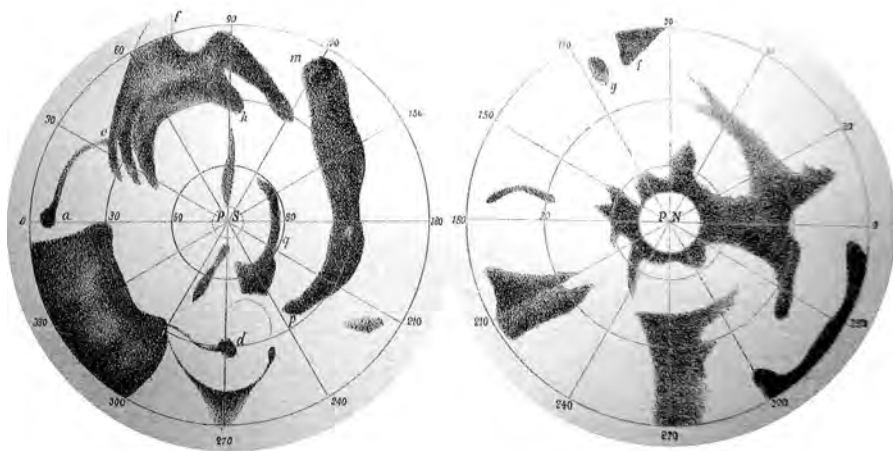
Dla Merkurego i Marsa wykonywano jedynie mapy albedo; dla Wenus informacja w tej postaci była jedynie hipotetyczna ze względu na dużą gęstość atmosfery. Obserwacje prowadzone z Ziemi nie pozwalały na wykonanie map małych obiektów oraz księżyców gazowych olbrzymów.

W 1830 r. astronomowie niemieccy Wilhelm Beer i Jan Mädler rozpoczęli obserwacje powierzchni Marsa. Efektem ich prac była pierwsza mapa Marsa (ryc. 4) z zaznaczonym południkiem zerowym oraz wprowadzonymi współrzędnymi areograficznymi Ares (gr.) = Mars (łac.) (S. Brzostkiewicz 1975).

W 1877 roku włoski astronom Giovanni Virginio Schiaparelli opublikował pierwszą szczegółową mapę Marsa wykonaną na podstawie pomiarów mikrometrycznych (ryc. 5) (S. Brzostkiewicz 1975). W odróżnieniu od większości ówczesnych map miała ona orientację, według

nej Schiaparelli skartował nieistniejące w rzeczywistości obiekty prostoliniowe *canali* (kanały, którym nadał nazwy znanych rzek ziemskich).

Z innych autorów map z tego okresu warto wspomnieć o Eugeniuszu M. Antoniadam oraz Kazimierzu Romualdzie Graffie, których mapy



Ryc. 4. Mapa Marsa wykonana przez Wilhelma Beera i Jana Mädlera
(źródło: <http://planetologia.elte.hu/ipcd/madler.jpg>)

Fig. 4. The map of Mars developed by Wilhelm Beer and Jan Mädler (source: <http://planetologia.elte.hu/ipcd/madler.jpg>)



Ryc. 5. Mapa Marsa wykonana przez Giovanniego Schiaparelliego w 1877 roku (źródło: http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=schiaparelli_mars_maps)

Fig. 5. The map of Mars by Giovanni Schiaparelli in 1877
(source: http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=schiaparelli_mars_maps)

której północ była pokazana na górze (teleskopy dawały odwrócony obraz, dlatego w większości innych opracowań południe znajdowało się na górze). Na skutek obserwowania iluzji optycz-

nych należą do najcenniejszych dzieł kartografii marsjańskiej.

Od 1924 r. wizualne obserwacje Marsa zaczęto łączyć z obserwacjami fotograficznymi. Taką technikę zastosował astronom francuski Gerard de Vaucouleurs podczas pracy nad mapą tej planety. Przeprowadzone w latach 1939–1941 obserwacje posłużyły do wykonania jednej z najdokładniejszych wówczas map Marsa (S. Brzostkiewicz 1975).

W czasach nowożytnych (lata sześćdziesiąte do początków lat dziewięćdziesiątych XX wieku) można wyróżnić trzy główne kierunki w kartowaniu planet. Pierwszy kierunek wiąże się z mapami opracowywanymi jako rezultaty analiz i generalizacji danych pozyskanych podczas obserwacji prowadzonych z powierzchni Ziemi. Szczególnie istotne są tu opracowania widocznej strony Księżyca służące wspomaganie programu Apollo. Do opracowań tych należy *Lunar Astronautical Chart* (Astronautyczna mapa Księżyca) w skali 1:1 000 000 na 44 arkuszach oraz *Apollo Intermediate Chart*

(Pośrednia mapa Apollo) obszarów równikowych w skali 1:500 000 na 20 arkuszach. Inny kierunek rozwoju kartografii planetarnej wiązał się z badaniami opartymi na metodach radarowych takich ciał jak Merkury i Wenus. Udało się w ten sposób wykryć kratery na powierzchni tych planet, co można było następnie przedstawić na pierwszych schematycznych mapach. Dla Marsa wykonano mapy w skalach 1:5 000 000 na 30 arkuszach, dla Wenus na podstawie pomiarów radarowych i radiowych wykonano mapy 30 procent jej powierzchni w skali 1:5 000 000 na 27 arkuszach. Równoległe z tymi pracami pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku wyłonił się trzeci kierunek związany z redagowaniem map na podstawie danych pomiarowych zebranych przez pojazdy zdalne, w tym sztuczne satelity, sondy kosmiczne oraz pojazdy, którym udało się skutecznie wylądować na powierzchni obcych planet. Obrazy fotograficzne i telewizyjne były transmitowane na Ziemię, gdzie były przetwarzane metodami fotogrametrii analitycznej. Początkowo wysiłki były skoncentrowane na eksploracji Księżyca. Pomiarzy wykonane przez sztuczne satelity Księżyca (MAS) pozwoliły na zaplanowanie miejsc lądowania i wykonanie zestawu map wielkoskalowych w skali 1:25 000 obejmujących także niewidoczną z Ziemi stronę Księżyca. Program Apollo Stanów Zjednoczonych zaowocował sześciokrotnym lądowaniem człowieka na Księżycu w latach 1969–1972. Mikrorzeźbę Księżyca zaprezentowano na planie topograficznym przygotowanym na podstawie danych przesłanych przez pierwszy samobieżny Łunochod. Na podstawie danych zebranych przez program Apollo przygotowano serie map w skali 1:250 000 o pokryciu 1/4 widzialnej półkuli Księżyca. W wyniku lądowania misji bezzałogowych na powierzchni Księżyca wykonano pierwsze plany topograficzne (K. Shingareva i inni 2007).

Warto wspomnieć, że w 1971 r. wydano pierwszą polską mapę ścienną obu półkul Księżyca. Mapa w skali 1:4 000 000 przeznaczona do celów dydaktycznych opracowana została przez A. Marksa i wydana przez Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych. Mapa ta w 1972 r. została zmniejszona do skali 1:12 000 000 i wydana w formie mapy podręcznej (J. Rutkowski 1979).

Wysłanie sond kosmicznych Mariner umożliwiło wykonanie zdjęć powierzchni Marsa. Fo-

tografie otrzymane w latach 1971 i 1972 za pomocą sondy Mariner 9 umożliwiły opracowanie pierwszej mapy całej powierzchni Marsa. Mapę taką opracowali pracownicy Jet Propulsion Laboratory w pierwszej połowie 1972 roku. Wówczas nie posiadano jeszcze fotografii okolic północnego bieguna i dlatego nie obejmuje ona obszarów leżących powyżej 50 stopnia północnej szerokości areograficznej. Mapa ta została wykonana w odwzorowaniu Merkatora (S. Brzostkiewicz 1975).

Wysłanie sond kosmicznych zaowocowało również pomiarami galileuszowych księżyców Jowisza, niektórych księżyców Saturna, Urana i Neptuna.

Zdjęcia wykonane przez sondy Voyager umożliwiły opracowanie w 1979 r. pierwszych map księżyców Jowisza. W rok później fotomapy wykonane przez Voyager Imaging Science Team i Jet Propulsion Laboratory zostały wydane przez Służbę Geologiczną Stanów Zjednoczonych. Są to mapy w skali 1:25 000 000 czterech księżyców: Io, Europy, Ganimedesa i Calisto. Na podstawie zdjęć wykonanych przez te sondy w 1982 r. opracowano pierwsze mapy sześciu księżyców Saturna: Mimas, Enceladusa, Tethysa, Dione, Thei i Tytana. Mapy w skali 1:5 000 000 (Enceladus i Mimas) i 1:10 000 000 (pozostałe księżyce) zawierają ogromną ilość informacji o szczegółach rzeźby ich powierzchni (M. Piekuth 1984).

Okres od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku do chwili obecnej niesie ze sobą nowe możliwości rozwoju kartografii planetarnej. Związane jest to z rozwojem technologii komputerowych, kartografii cyfrowej, metod trójwymiarowego modelowania przestrzeni, a także intensyfikacją misji kosmicznych oraz rozwojem aparatury pomiarowej. W wyniku skanowania radarowego planety Wenus z orbity VAS (Venus artificial satellite) w latach 1990–1994 na Ziemię przesłano dość materiałów źródłowych do redagowania nie tylko map „ogólnoplanetarnych” (odpowiedników ogólnogeograficznych), ale także tematycznych. Pomimo kilku nieudanych startów badawczych na Marsa, na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku kontynuacja badań pozwoliła również na zgromadzenie znacznego materiału źródłowego, przedstawionego na mapach tematycznych: geologicznych, geomorfologicznych i innych. Start statku kosmicznego Clementine na Księżyc w 1994 roku zaowocował zebraniem danych

obrazowych wielospektralnych, pozwalających na przygotowanie opracowań tematycznych w skali globalnej. Zainteresowaniem badaczy cieszą się również księżycy gazowych olbrzymów oraz asteroidy znajdujące się w pasie głównym Układu Słonecznego. Na orbitę operacyjną w 2004 roku wkroczył Mars Express, pierwsza europejska misja kosmiczna, pozwalająca na zbieranie wielospektralnych zdjęć stereoskopowych o wysokiej rozdzielczości. Innymi przykładami eksploracji planet przez organizacje europejskie są misje Venus Express, ExoMars, BepiColombo, JUICE. Znaczącym osiągnięciem jest wykonanie pomiarów asteroidy Eros z poziomu jej orbity (A. Nass, S. Gasselt 2013, K. Shingareva i inni 2007).

Poszukiwane są obecnie nowe odwzorowania kartograficzne do kartowania asteroid i innych małych obiektów o nieregularnym kształcie znacznie odbiegającym od elipsoidalnego. Księżycy Marsa: Fobos i Deimos były pierwszymi nieregularnymi ciałami obserwowanymi z dużą dokładnością przez sztuczne satelity, stanowiąc do dziś ważne pola testowe dla rozwoju nowych technik mapowania ciał o tego typu morfologii. Kartowanie księżyców-planetoid ewoluowało od połowy lat siedemdziesiątych XX wieku zaczynając od szkiców geologicznych struktur powierzchniowych do cyfrowych przetworzeń globalnych ortoobrazów. Impulsem do rozwoju nowych odwzorowań kartograficznych stały się obrazy teledetekcyjne, których dokładność uzasadnia wykonywanie opracowań w większej skali (M. Wählisch i inni 2013).

Istotnym czynnikiem wpływającym na rozwój kartografii planetarnej od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku jest zastosowanie rozwiązań bazodanowych oraz technologii GIS. Przykładem pierwszego zastosowania GIS-u w kartografii planetarnej jest system zaprezentowany podczas Warsztatów Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) w 2003 roku w Holandii. Obecnie dane zbierane są w postaci cyfrowej, w tym przetwarzane są do tej postaci dane analogowe zebrane w poprzednich okresach eksploracji kosmosu. Sama digitalizacja materiałów analogowych jest jednak niewystarczająca. Sporo wysiłku należy zainwestować w transfer tych danych do formatów umożliwiających ich integrację ze śro-

dowiskiem bazodanowym GIS. Istotne są przy tym standaryzacja opisu i klasyfikacji danych oraz map celem ich efektywnego gromadzenia oraz rozwój planetarnych modeli danych. W przyszłości niezbędne jest bowiem opracowanie kompleksowego programu kartowania obiektów Układu Słonecznego z uwzględnieniem standardów międzynarodowych. Według prawa międzynarodowego informacje o terytoriach pozaziemskich należą do całej społeczności ludzkiej. W 1999 roku utworzona została Komisja Kartografii Planetarnej w Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej (Commission on Planetary Cartography ICA), której celem jest harmonizacja międzynarodowej aktywności kartograficznej oraz rozwój materiałów referencyjnych dla wsparcia globalnego rozpowszechnienia informacji zawartych w produktach kartografii planetarnej (K. Shingareva i inni 2007, A. Nass i inni 2011, A. Nass, S. Gasselt, 2013).

Ciekawym i ważnym aspektem historycznego kształtowania się kartografii planetarnej jest proces nadawania nazw obiektom topograficznym powierzchni ciał niebieskich. Nazwy obiektów powierzchniowych Księżyca z 1645 roku nadane przez Langrena pochodziły od imion ówczesnych królów i świętych (oraz samego Langrena). Heweliusz, ignorując to nazewnictwo wykorzystywał nazwy geograficzne Europy, co miało umożliwić łatwe ich zapamiętanie (H. Hargitai 2006).

Przełomowym dla nazewnictwa map księżycowych był rok 1651. Wówczas to ukazała się mapa włoskiego astronoma Jana Battysty Riccioliiego, na której autor wprowadził poetyckie nazwy dla 20 mórz, zatok i jezior, np. Morza: Deszczów, Nektaru, Spokoju, Jezioro Marzeń, Zatoka Tęcz, Bagno Mgieł. Wszystkie 20 nazw przetrwało do dziś, a poza tym nadal obowiązuje zasada nazywania obszarów mórz na wzór Riccioliiego (J. Rutkowski 1979).

Dla nazw obiektów Marsa widocznych z Ziemi P.A. Secchi wykorzystywał imiona znanych odkrywców (1850), R.A. Proctor imiona astronomów (1864), a G. Schiaparelli nazwy o rodowodzie biblijnym i zapożyczone z mitologii greckiej (1877). Od 1959 roku Rosjanie mieli wyłączne prawa do nazywania obiektów po niewidocznej stronie Księżyca, nazywając je na cześć radzieckich uczonych i inżynierów. W 1970 roku Grupa Robocza ds. Nazewnictwa Księżyca Międzynarodowej Unii Astronomicznej (IAU Working Group on Lunar Nomencla-

ture) skorzystała z bardziej międzynarodowego podejścia i zaadoptowała ponad 500 nazw, w większości radzieckich i amerykańskich dla obiektów tej półkuli. Dla większości obiektów na Marsie i Księżycu IAU zaadoptowała i rozwinęła najbardziej „neutralne” metody nazewnictwa Riccioliiego i Schiaparelliego, uzupełniając o imiona zmarłych naukowców (H. Hargitai 2006).

Eksploatacja planet i ich mapowanie są procesami kumulatywnymi. Zbiór danych źródłowych do analiz i interpretacji stale rośnie. Kartografia planetarna stanowi ważną część badań związanych z eksploracją kosmosu od lat sześćdziesiątych XX wieku. Powstaje mnóstwo fotomosaik, map cieniowanych, topograficznych, tematycznych, przeznaczonych dla środowisk naukowych oraz popularyzacji wiedzy. Powstają one w wyniku interpretacji, abstrahowania oraz przetwarzania informacji pozyskanych obecnie głównie metodami teledetekcyjnymi (A. Nass, S. Gasselt 2013).



Ryc. 6. Jedno z pierwszych zdjęć niewidocznej z Ziemi strony Księżyca wykonane z pokładu statku Łuna 3 oraz jedna z pierwszych panoram Księżyca wykonana przez kamery zamontowane na statku Łuna 9 (źródło: www.mentallandscape.com/C_CatalogMoon.htm)

Fig. 6. One of the first pictures of the invisible from the Earth side of the Moon taken from the Luna 3 spacecraft and one of the first lunar panoramic view taken by cameras placed on Luna 9 spacecraft (source: www.mentallandscape.com/C_CatalogMoon.htm)

3. Pozyskiwanie danych źródłowych do opracowań kartograficznych ciał niebieskich

Zanim wysłano w kosmos pierwsze sondy, podstawowym źródłem danych do opracowania map nieba, planet i innych obiektów pozaziemskich były obserwacje naziemne wykonywane za pomocą teleskopów optycznych. Księżyc był głównym celem takich obserwacji. Jego bliskość do Ziemi i brak atmosfery umożliwił wykonanie dziesiątek map i atlasów widocznej półkuli Księżyca. W przypadku innych

ciał niebieskich nie było możliwe wykonanie szczegółowych map.

Podbój kosmosu rozpoczął się wraz z umieszczeniem na orbicie przez ZSRR w październiku 1957 r. pierwszego sztucznego satelity Sputnik 1, który posiadał dwa nadajniki radiowe. Odebrane na Ziemi sygnały posłużyły m.in. do badania gęstości elektronów w jonosferze.

Pierwszym pozaziemskim obiektem badań misji kosmicznych był Księżyc. Historię nowoczesnych badań Księżyca można podzielić na dwa okresy. Początkowy okres zaczyna się w końcu lat pięćdziesiątych XX wieku od pierwszych zautomatyzowanych sond i kończy się w latach siedemdziesiątych na ostatnich misjach Apollo. Po długiej przerwie w latach dziewięćdziesiątych XX wieku nastąpił renesans badań kosmicznych Księżyca wraz z wysłaniem misji Clementine oraz Lunar Prospector.

Pionierami w badaniach naturalnego satelity Ziemi byli naukowcy z ZSRR. Pierwszą sondę

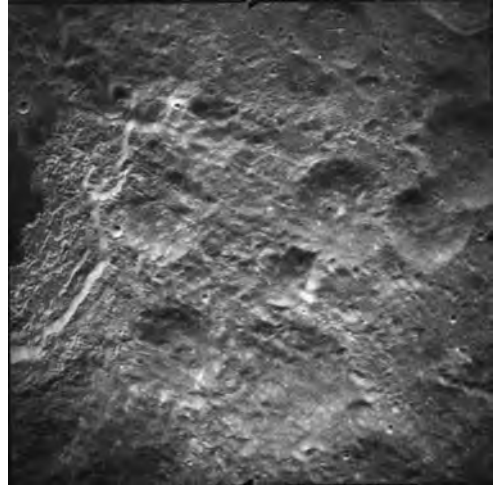
o nazwie Łuna 1 wysłali uczeni radzieccy 2 stycznia 1959 r.; kolejna sonda – Łuna 2 uderzyła w Księżyc 13 września 1959 roku. 4 października 1959 r. została wysłana ku Księżycowi sonda Łuna 3, wyposażona w dwa samoczynne aparaty fotograficzne, które wykonały szereg fotografii niewidocznej z Ziemi strony Księżyca. Fotografie te następnie zostały automatycznie wywołane i utrwalone, a uzyskane w ten sposób obrazy przesłane sposobem telegraficznym na Ziemię (A. Marks 1969). Pierwsze kontrolowane lądowanie na Księżycu wykonała Łuna 9 w 1966 r., pierwszą sondą, która

w 1970 r. powróciła z Księżyca na Ziemię przywożąc próbki księżycowej gleby, była Łuna 16, a pierwszy łazik Łunochod 1 umieściła na Księżycu sonda Łuna 17 w 1970 r. Misje te dostarczyły dużą ilość danych w postaci filmów i zdjęć (ryc. 6), które posłużyły następnie do opracowania map. Obrazy z tych misji znajdują się na stronie: www.mentallandscape.com/C_CatalogMoon.htm (K. Kirk i inni 2007).

Stany Zjednoczone starły się wyprzedzić Związek Radziecki w wyścigu o podbój kosmosu. Amerykanie postawili sobie zadanie wysłania pierwszego człowieka na Księżyc. Udało im się tego dokonać w 1969 roku. Zadanie wymagało przeprowadzenia kilku misji przygotowawczych, pozyskania wielu danych obrazowych oraz wykonania nowych map Księżyca. Wysłano więc szereg sond wyposażonych w nowe urządzenia pomiarowe. Przykładowo celem misji Lunar Orbiter było wykonanie wysokorozdzielczych zdjęć do identyfikacji miejsc lądowań dla przyszłych misji Apollo. Każdy ze statków posiadał 80-milimetrową kamerę o średniej rozdzielczości i wysokorozdzielczą kamerę o ogniskowej 610 mm. Zeskanowane zdjęcia są dostępne na stronie: www.lpi.usra.edu/resources/lunar_orbiter. Astronauci Apollo używali ręcznych 70-milimetrowych kamer do fotografowania Księżyca z orbity zaczynając od misji Apollo 8 w 1968 roku. Misje Apollo 11, 12, 14, 15, 16 i 17 pozwoliły na wykonanie zdjęć i filmów już z powierzchni Księżyca. Zdjęcia z tych misji (ryc. 7) zdigitalizowano z rozdzielczością 72 dpi i zamieszczono na stronie: www.lpi.usra.edu/resources/apollo. Jednak dopiero w misjach Apollo 15, 16 i 17 (1971 i 1972) zostały użyte systemy kamer do celów kartograficznych – kamery metryczne, kamery panoramiczne, kamery do fotografowania gwiazd oraz wysokościomierz laserowy.

W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia wysłano wiele innych misji kosmicznych mających na celu badanie Księżyca. Warto tu wymienić serię misji Lunar Rangers. Sondy wyposażone zostały w kamery pozwalające na transmisję ramek obrazów telewizyjnych o wymiarach 800×800 i 200×200 pikseli. W latach 1964 i 1965 w czasie misji Ranger 7, 8 i 9 pozyskano dane z największą wówczas rozdzielczością 25 cm (wokół punktu zderzenia sondy z powierzchnią Księżyca). Znajdują się one na stronie: www.lpi.usra.edu/resources/rangers (K. Kirk i inni 2007).

W czasie ostatnich piętnastu lat wysłano misje kosmiczne Clementine, Lunar Prospector i Smart-1, które pozwoliły na zebranie danych



Ryc. 7. Zdjęcie powierzchni Księżyca wykonane kamerą metryczną podczas misji Apollo 15 (źródło: www.lpi.usra.edu/resources/apollo)

Fig. 7. A photograph of the Moon surface taken with a metric camera during the Apollo 15 mission (source: www.lpi.usra.edu/resources/apollo)

do opracowania map obrazowych w wielu zakresach spektralnych i uzyskanie wielu informacji o topografii, grawitacji, albedo, składzie chemicznym i mineralnym powierzchni Księżyca. Do badań kosmicznych włączyły się też agencje kosmiczne z innych krajów. Oprócz NASA oraz Rosyjskiej Federalnej Agencji Kosmicznej (Roskosmos) aktywną działalność prowadzą: Europejska Agencja Kosmiczna (ESA), Japońska Agencja Kosmiczna (JAXA), Chińska Narodowa Agencja Kosmiczna (CNSA), Indyjska Organizacja Badań Kosmicznych (ISRO). Wysłaty one wiele misji, m.in.: Kaguya, Selene, Change^E-1, Change^E-2, Chandrayaan-1, Lunar Reconnaissance Orbiter oraz Robotics Lunar Exploration Programme.

Sonda Galileo wysłana z misją zbadania Jowisza wykonała w latach 1990 i 1992 zdjęcia Księżyca (ryc. 8). Była po raz pierwszy wyposażona w kamery CCD, co zaowocowało znacznym udoskonaleniem stabilności geometrycznej i radiometrycznej kalibracji obrazów.

Wystrzelona w 1994 r. sonda Clementine była pierwszym od dwóch dekad nowym statkiem kosmicznym krążącym po orbicie i bada-



Ryc. 8. Zdjęcie okolic północnego bieguna Księżyca wykonane przez sondę Galileo (źródło: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00126>)

Fig. 8. The picture of the north area of the Moon taken by the Galileo probe (source: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00126>)

jącym Księżyc. Wyposażona była w kamerę do obserwacji gwiazd w celu orientacji przestrzennej statku kosmicznego, wysokościomierz laserowy i cztery małoformatowe kamery CCD do obserwacji i kartowania Księżyca. Kamery pozwoliły otrzymać obrazy pokrywające całą powierzchnię Księżyca w pięciu zakresach spektralnych.

Lunar Prospector była sondą NASA, która w latach 1998 i 1999 krążyła wokół Księżyca nad jego biegunami. Na jej pokładzie zainstalowano spektrometry promieniowania gamma, neutronowego i alfa w celu zbadania z jakich pierwiastków składa się jego powierzchnia. Sonda także posiadała magnetometr i reflektometr elektronowy do wykrywania szczątkowego pola magnetycznego oraz urządzenie do wyznaczenia pola grawitacyjnego.

Misja ESA SMART-1 zakończyła się w 2006 r. umyślnym zderzeniem sondy z powierzchnią Księżyca. Otrzymano około 32 000 zdjęć pokry-

wających całą powierzchnię z rozdzielczością 250 m/piksel oraz południową półkulę z rozdzielczością 100 m/piksel.

Kaguya – japońska misja rozpoczęła badanie Księżyca w 2007 roku. Celem misji było pozyskanie danych kartograficznych za pomocą trzech instrumentów: tzw. Terrain Camera (TC) – kamery do obrazowania terenowego – skanera o rozdzielczości 10 m, wielospektralnej kamery o rozdzielczości 20 m w zakresach widzialnych i rozdzielczości 60 m w czterech zakresach bliskiej podczerwieni, laserowego wysokościomierza zbierającego dane z pasa o szerokości 1,6 km wzdłuż śladu sondy z rozdzielczością 5 m (www.jaxa.jp).

Change'1 orbiter – sonda chińska wystrzelona w 2007 r. miała na pokładzie stereo kamerę CCD z trzema kierunkami obserwacji: nadiowym, w przód i wstecz w kącie wychylenia 17 stopni z rozdzielczością 120 m oraz laserowy wysokościomierz z 200-metrowym pasem skanowania i 5-metrową pionową rozdzielczością oraz interferometr obrazowy z 200-metrową rozdzielczością o długościach fal 0,48–0,96 μm .

Chandrayaan-1 – sonda indyjska wysłana w 2008 r. posiadała na pokładzie cztery instrumenty do globalnego kartowania powierzchni Księżyca: TMC (Terrain Mapping Camera) – kamerę z trzema kierunkami obserwacji – nadiowym, w przód i wstecz w kącie 17 stopni w pasie 40 km i 5-metrową rozdzielczością przestrzenną, LLRI (Lunar Laser Ranging Instrument) – wysokościomierz laserowy o rozdzielczości pionowej 5 m, M3 (Moon Mineralogy Mapper) o rozdzielczości 140 m/pixel dla globalnego kartowania oraz 70 m/pixel dla miejscowego skanowania oraz system radarowy SAR – radar Mini-RF, który bada obszary okołobiegunowe.

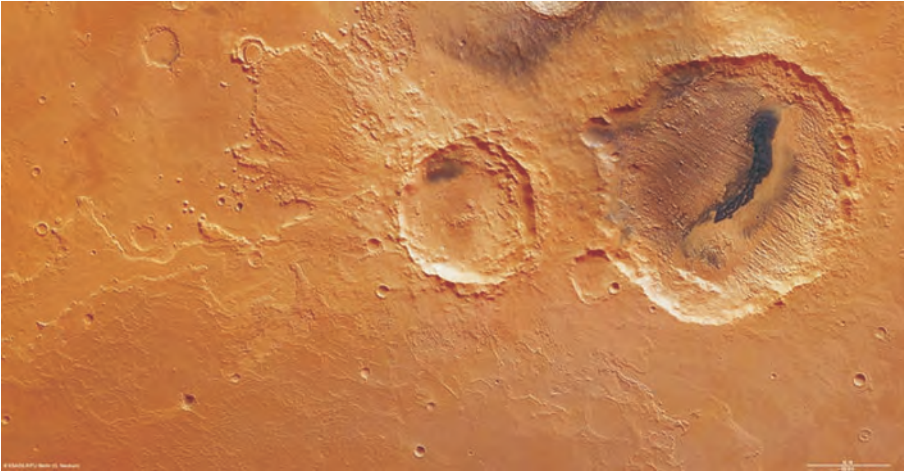
Lunar Reconnaissance Orbiter – misja z 2008 roku była wyposażona w trzy instrumenty – system kamer, wysokościomierz laserowy i system radarowy SAR (K. Kirk i inni 2007).

W 2012 zakończone zostały dwie misje NASA GRAIL. Celem ich było pogłębianie wiedzy o polu grawitacyjnym Księżyca.

Pierwsze dane o Marsie dostarczyły misje Viking 1 i 2. W ramach tych misji w latach 1975 i 1976 prowadzono badania zmierzające do określenia biologicznej aktywności na planecie. W kolejnych latach w celu badania Marsa wysłano wiele różnego rodzaju misji kosmicznych, m.in. zakończone lądowaniem na Marsie, wykorzystujące pojazdy poruszające się

po powierzchni Marsa i sondy orbitujące wokół planety. W czasie ostatniej dekady sondy Mars Global Surveyor (wyrzuczona w 1996), Mars Odyssey (2001) i Mars Express (2003) dostarczyły dużą ilość wysokorozdzielczych danych obrazowych i dużą ilość danych na temat obiektów znajdujących się na powierzchni planety, jej klimatu, procesów atmosferycznych i pola magnetycznego (ryc. 9).

siedemdziesiątych XX wieku przelatując kilkakrotnie w pobliżu planety wykonała kilka zdjęć jej powierzchni. W 2004 r. NASA wyrzuciła sondę Messenger w kierunku Merkurego, która w 2011 r. weszła na jego orbitę. Sonda wyposażona jest w szereg urządzeń przeznaczonych do badania planety, m.in. zestaw dwóch kamer (wąsko- i szerokokątną) do fotografowania powierzchni Merkurego oraz zbierania



Ryc. 9. Zdjęcie powierzchni Marsa wykonane przez sondę Mars Express
(źródło: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/06/Danielson_and_Kalocsa_craters)

Fig. 9. The picture of the surface of Mars taken by Mars Express spacecraft
(source: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/06/Danielson_and_Kalocsa_craters)

Największym sukcesem okazały się misje łazików Spirit, Opportunity oraz Curiosity. Wyposażone były w wiele instrumentów do obrazowania, takich jak kamery panchromatyczne, mikroskopy oraz do badania składu mineralnego, tekstury i struktury skał, takie jak spektrometr Mössbauera i spektrometr cząstek alfa promieni X (N. Bhandari 2008).

Wielkim sukcesem zakończyła się misja umieszczenia na powierzchni Marsa łazika Curiosity w ramach programu naukowego Mars Science Laboratory. Stanowi on zautomatyzowane i autonomiczne laboratorium naukowo-badawcze. Celem badań jest ocena możliwości istnienia w przeszłości potencjalnych warunków do życia. W sierpniu 2012 roku Curiosity rozpoczął badania Marsa, które trwają do dziś (ryc. 10).

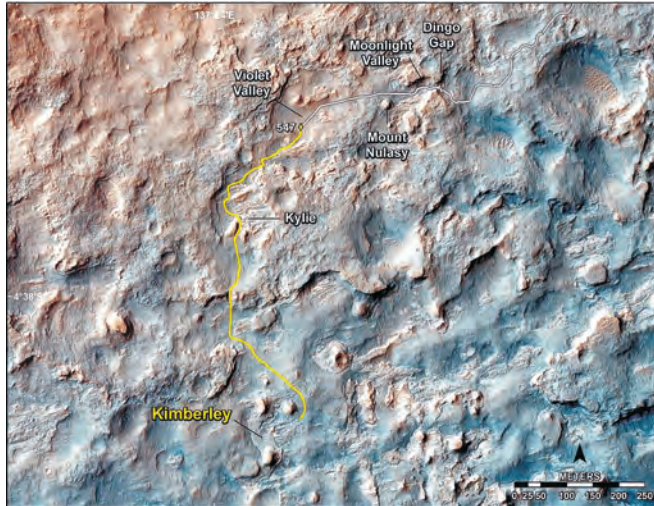
Pierwszą misją, która dostarczyła informacji o Merkury, była Mariner 10. W połowie lat

danych topograficznych, ponadto spektrometr promieniowania gamma i neutronów pozwalający na określenie względnej zawartości pierwiastków budujących planetę, spektrometr promieniowania rentgenowskiego, magnetometr, wysokościomierz laserowy do pozyskiwania danych wysokościowych do opracowania map topograficznych, spektrometr składu atmosfery i powierzchni, spektrometr cząstek energetycznych i plazmy oraz urządzenie radiowe, które służy dopplerowskiemu pomiarowi prędkości statku podczas orbitowania wokół Merkurego, co z kolei pozwoli na wyznaczenie rozkładu masy pod powierzchnią planety (N. Bhandari 2008).

Planeta Wenus w latach 1961–1983 stała się jednym z głównych celów badań kosmicznych prowadzonych przez ZSRR. Wysłano serię misji Wenera, w której znalazły się ładowniki i orbiter. Amerykańskie misje Magel-

lan (NASA) dostarczyły informacji o atmosferze i warunkach panujących na powierzchni Wenus. Głównym celem tych misji było dokładne zbadanie planety za pomocą radaru. Pozwoliło to na wykonanie map powierzchni Wenus niewidocznej w świetle widzialnym z powodu bardzo gęstej warstwy chmur. Sonda wykonała także badanie pola grawitacyjnego planety oraz pomiary wysokości obiektów za pomocą

księżyców Jowisza: Io, Europy, Ganimedesa i Calisto. W listopadzie 1980 r. Voyager 1 zbliżył się do Saturna i rozpoczął wykonywanie zdjęć księżyców Mimas, Dione i Rhei, a następnie z dalszej odległości – Thetysa, Enceladusa, Iapetusa i Hiperiona. Celem misji Voyager 2 było uzupełnienie danych pozyskanych z misji Voyager 1. Ponadto Voyager 2 przekazał na Ziemię pierwsze zdjęcia Phoebe, najbardziej



Ryc. 10. Mapa aktualnie wykonanej i planowanej trasy łazika Curiosity, stan na luty 2014 r. (źródło <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/images/?ImageID=6013>)

Fig. 10. The map of current and planned path of the Curiosity rover, according to data from February 2014 (source: <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/images/?ImageID=6013>)

wysokościomierza radarowego (N. Bhandari 2008). W 2005 r. Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) wysłała sondę Venus Express z wieloma instrumentami pomiarowymi na pokładzie. Głównym celem misji było badanie atmosfery planety, między innymi za pomocą Planetarnego Fotospektrometru Fourierowskiego (PFS), skonstruowanego w Centrum Badań Kosmicznych PAN.

Pierwsze loty w pobliżu Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna wykonały sondy Pioneer 10 i 11 oraz Voyager 1 i 2 (start w latach siedemdziesiątych XX wieku). Pozwoliły one na opracowanie map nie tylko tych planet, ale też ich księżyców. Sondy Pioneer 10 i 11 wykonały radarowe pomiary trzech księżyców Jowisza, jednak dopiero zdjęcia wykonane przez sondy Voyager umożliwiły opracowanie map czterech

odległego księżycy Saturna (M. Piekuth 1973).

Z kolei misje Galileo oraz Chandra pozwoliły na badania atmosfery oraz księżyców tych planet. Wszystkie one przyniosły wiele odkryć odnośnie do dynamiki i struktury systemu pierścieni oraz właściwości powierzchni księżyców. Przykładowo misje Galileo pozwoliły na odkrycie budowy powierzchni Ganimedesa oraz dostarczenie dowodów na istnienie wody na Europie – księżycu Jowisza. Podczas misji Cassini-Huygens wykonano zdjęcia, które przedstawiały erupcje gejzerów na powierzchni Enceladusa – małego księżycy Saturna. Również misje te pozwoliły na zbadanie atmosfery i cech powierzchni Tytana – księżycy Saturna.

Większość misji mających na celu badanie asteroid były to misje przelotowe. Asteroida 9969 Breille była pierwszą asteroidą zaobser-

wowaną przez próbnik NASA Deep Space. 29 lipca 1999 r. sonda przeleciała w odległości około 26 km od niej. Misja NEAR Shoemaker (Near Earth Asteroid Rendezvous) wysłana w 1996 r. w celu zbadania powierzchni asteroidy 433 Eros wykonała analizy jej powierzchni za pomocą szeregu instrumentów teledetekcyjnych. W 1996 r. sonda także sfotografowała kometę Hyakutake i w 1997 r. wykonała pierwszy przelot w pobliżu asteroidy 253 Matylda. Asteroidy 951 Gaspra i 243 Ida zostały zobrażone przez sondę Galileo. Misja Hayabusa JAXA zebrała pierwsze próbki z asteroidy Itakawa w październiku 2005 r. (N. Bhandari 2008). W 2007 r. NASA wysłała misję DAWN w celu eksploracji dwóch największych asteroid 1 Ceres i 4 Westa. W 2011 r. sonda znalazła się na orbicie Westy, a w 2015 r. planowane jest umieszczenie sondy na orbicie Ceres.

Opisane wyżej misje stanowią tylko niewielką część uzyskanych w ciągu całej historii eksploracji kosmosu. Celem każdej misji było prowadzenie badań i pozyskiwanie danych do różnych opracowań, w tym kartograficznych. W okresie bez mała sześćdziesięciu lat zgromadzono ogromny zasób danych, począwszy od słabej jakości zdjęć powierzchni Księżyca z końca lat pięćdziesiątych XX wieku po dane obrazowe uzyskane z kamer stereoskopowych, wysokorozdzielczych i wielospektralnych, altymetrycznych pomiarów laserowych, instrumentów radarowych oraz wielu innych urządzeń pomiarowych. Rozwój technik pomiarowych spowodował, że współczesne sondy kosmiczne są zaawansowanymi technicznie w pełni zautomatyzowanymi laboratoriami naukowo-badawczymi. Dane z misji kosmicznych po przesłaniu na Ziemię są kalibrowane, przetwarzane oraz mozaikowane. Wykonywane są stereoanalizy w celu uzyskania cyfrowych modeli terenu o zasięgu lokalnym, regionalnym oraz globalnym. Stanowią one źródło danych do opracowania różnorodnych map.

Informacje o misjach kosmicznych oraz pochodzące z nich dane zamieszczane są przede wszystkim na stronach internetowych agencji kosmicznych i astronomicznych NASA (www.nasa.gov), ESA (www.esa.int), Roskosmos (www.federal-space.ru), JAXA (global.jaxa.jp), CNSA (www.cnsa.gov.cn), ISRO (www.isro.org).

Jednym z najlepszych źródeł danych jest opracowany przez NASA system danych planetarnych (PDS – Planetary Data System),

który archiwizuje i udostępnia dane z amerykańskich misji kosmicznych, obserwacji astronomicznych oraz pomiarów laboratoryjnych. Dane udostępniane są bezpłatnie na stronie <http://pds.jpl.nasa.gov/>. Warto też wspomnieć o projekcie Służby Geologicznej Stanów Zjednoczonych o nazwie PIGWAD (Planetary Interactive G.I.S.–on–the–Web Analyzable Database), w wyniku którego powstał internetowy system udostępniający dane planetarne. Główne cele tego projektu to:

- opracowanie przyjaznego dla użytkowników internetowego interfejsu wspomagającego systemy informacji geograficznej w zakresie graficznych, statystycznych i przestrzennych narzędzi do analizy danych planetarnych;
- rozpowszechnianie materiałów edukacyjnych, narzędzi, programów i informacji;
- utworzenie bazy danych planetarnych zawierającej cyfrowe mapy geologiczne, topograficzne i dane teledetekcyjne;
- zachęcanie do stosowania technologii GIS w badaniach planetarnych, w tym tworzenie ogólnie dostępnych standardów (<http://webgis.wr.usgs.gov/index.html>).

Dane dotyczące nazewnictwa można znaleźć na stronie internetowej <http://planetarynames.wr.usgs.gov/>. Zamieszczono tam zestawienie nazw planet i innych ciał pozaziemskich (*Gazetteer of Planetary Nomenclature*). Jest to oficjalna baza danych Grupy Roboczej ds. Nazewnictwa Systemu Planetarnego Międzynarodowej Unii Astronomicznej (Working Group for Planetary System Nomenclature of the IAU).

4. Metodyka wykonywania oraz rodzaje map i globusów ciał niebieskich

Podstawowym problemem kartografii planetarnej jest podjęcie decyzji o tym, jak przedstawić informacje o kształcie i powierzchni danego ciała niebieskiego. Wybór formy prezentacji kartograficznej uwarunkowany jest rodzajem matematycznej powierzchni odniesienia, dokładnością posiadanych danych źródłowych, obszarem i tematyką opracowania kartograficznego oraz jego przeznaczeniem. Na tej podstawie podejmowana jest decyzja co do rodzaju opracowania kartograficznego (globus, mapa, atlas itp.), definicji układu współrzędnych płaskich, skali oraz użytych metod prezentacji kartograficznej.

Definicja długości oraz szerokości geograficznej jest uwarunkowana pozycją osi obrotu ciała niebieskiego oraz wytycznymi IAU. Dokładność danych źródłowych decyduje o skali opracowania. Dobór odwzorowania kartograficznego oraz podział na arkusze w przypadku map jest uwarunkowany skalą opracowania, a w przypadku ciał małych dodatkowo nieregularnością ich powierzchni. Odwzorowania księżyców planet Układu Słonecznego muszą również uwzględniać fakt wykonywania obserwacji z różnych odległości i pod różnym kątem.

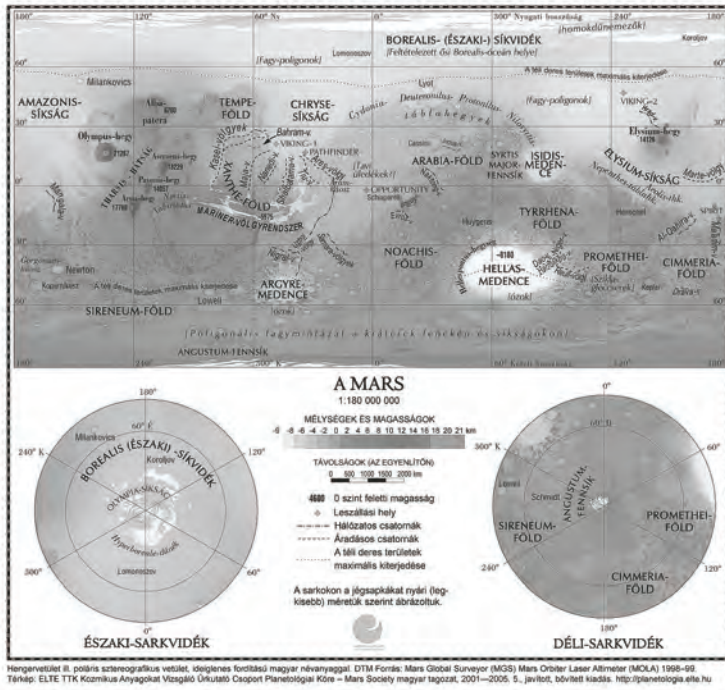
Dla większych planet i księżyców, podobnie jak dla Ziemi, spora liczba opracowań została wykonana w podziale na arkusze. Często stosowane są dwa odwzorowania przeciwległych półkul wykorzystujące zmodyfikowane odwzorowania azymutalne konforemne lub odwzorowania ortograficzne. Trzy wzajemnie ortogonalne pary widoków ilustrują morfologię ciała niebieskiego w sposób kompletny. Punktami głównymi odwzorowań są wówczas bieguny oraz punkty przecięcia równika z południkami 0° , 90° , 180° , 270° . Ponieważ te odwzorowania pokazują tylko jedną stronę obiektu, jest to niewystarczające podejście do pokazania rozmieszczenia struktur powierzchniowych w skali globalnej i pokazania ich wzajemnej relacji; z drugiej strony odwzorowania globalne niosą ze sobą silne zniekształcenia obszarów okołobiegunowych. Problemy te dobrze demonstrują potrzebę poszukiwania nowych odwzorowań. M. Nyrtsov (2001) proponuje kartowanie całego ciała niebieskiego oraz wykonanie oddzielnych map regionów polarnych (ryc. 11).

Jednym z podstawowych celów opracowania kartograficznego ciała niebieskiego jest pokazanie charakterystycznych form rzeźby terenu. Każdy obiekt pozaziemski ma swoją specyficzną rzeźbę terenu, co wymaga indywidualnego podejścia ze strony kartografa. Cechą wspólną opracowań planetarnych, w odróżnieniu od ziemskich są liczne kraterzy, brak pokrycia terenu roślinnością oraz brak powierzchniowych zbiorników wodnych, za wyjątkiem pokryw lodowych.

Mapy obiektów pozaziemskich mogą być przeznaczone do użytku przez różnego rodzaju specjalistów jako pomoc naukowa w badaniach lub dla szerokiego kręgu odbiorców w celach popularyzacji wiedzy o tych obiektach. Wśród opracowań przeznaczonych dla środowisk naukowych dominują średnio- i wielkoskalowe

mapy tematyczne (np. geomorfologiczne, geologiczne), wykonywane przez odpowiednie agencje rządowe, o dużym poziomie standaryzacji metod prezentacji kartograficznej. Opracowania przeznaczone do popularyzacji wiedzy oraz edukacji szkolnej są zwykle wykonane w mniejszych skalach oraz przedstawiają wiele warstw tematycznych. Nazewnictwo międzynarodowe (łacińskie ustalone przez IAU) jest zwykle przyjmowane jako podstawowe; oprócz tego występują nazwy w językach narodowych docelowego użytkownika. Stosuje się przy tym często nazwy nieformalne, czyli nieoficjalne, ale stosowane w literaturze. Opracowania popularyzatorskie zawierają także dodatkowe informacje pozaramkowe lub na odwrotnej stronie mapy. Znaczące walory edukacyjne mają globusy (ryc. 12), na których obraz powierzchni ciał niebieskich ulega znacznie mniejszym zniekształceniom niż na mapach opracowanych na płaszczyźnie. Obecnie coraz bardziej popularne są ich wirtualne odpowiedniki, dostępne przez Internet, o wysokim stopniu interaktywności.

Rekomendacje klasyfikacji obiektów topograficznych oraz ich nazw dla ciał niebieskich są rozwijane przez Grupę Roboczą ds. Nazewnictwa Systemu Planetarnego w ramach IAU. Wspólne podejmowanie decyzji odnośnie do nazewnictwa w ramach IAU pozwala uniknąć m.in. sytuacji, gdy wielu uczonych pracując równoległe nadaje różne nazwy tym samym obiektom. Ponadto wytyczne Międzynarodowej Unii Astronomicznej pozwalają na uniknięcie chaosu nazewniczego dzięki wprowadzeniu jednolitych zasad nazywania nowych obiektów. Przykładowo kraterzy na powierzchni Księżyca mogą być nazywane tylko nazwiskami uczonych i badaczy (bez inicjałów i imion); kraterzy mniejsze wewnątrz większych oraz satelickie dla nich są desygnowane nazwą krateru większego oraz dodatkowym oznaczeniem literowym, natomiast dla blisko położonych kraterów wskazane jest stosowanie jednej nazwy, aby uniknąć niejednoznaczności w nazywaniu mniejszych kraterów w okolicy. Wszystkie wskazane przez IAU nazwy obiektów topograficznych są podane po łacinie (np. kraterzy Hevelius, Copernicus). IAU nie podaje wskazówek jak należy tłumaczyć nazwy łacińskie, za wyjątkiem języka angielskiego. W przypadku pozostałych języków możliwe jest tłumaczenie na podstawie znaczeń poszczególnych wyrazów,



Ryc. 11. Mapy topograficzne Marsa: mapa w skali szerokości podzielona jest na trzy części (obszary okołobiegunowe w odwzorowaniu stereograficznym, obszar okołorównikowy w odwzorowaniu walcowym równokątnym); mapa w barwach zbliżonych do naturalnych została wykonana na jednym arkuszu przy użyciu odwzorowania Robinsona (źródła: http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=robinson_composite oraz: <http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=hydromars>)

Fig. 11. Topographic maps of Mars: greyscale map is divided into three parts (circumpolar area in stereographic mapping, equatorial area in conformal cylindrical mapping); the map in natural colours was made on one sheet using the Robinson projection (sources: http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=robinson_composite and: <http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=hydromars>)

transkrypcja, czyli transformacja fonetyczna nazwy (dla alfabetów nieromańskich) lub transliteracja – transformacja litera po literze. Transliteracja w stosunku do transkrypcji ma tę zaletę, że jest procesem odwracalnym, podczas gdy transkrypcja zwykle uniemożliwia przywrócenie oryginalnej nazwy (J. Rutkowski 1979, H. Hargitai 2006, H. Hargitai, M. Gede 2009).



Ryc. 12. Globus ilustrujący topografię Księżyca (źródło: http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=moon_globe_1987)

Fig. 12. The globe illustrating the topography of the Moon (source: http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=moon_globe_1987)

Mapy ciał niebieskich składają się w zasadzie z przynajmniej trzech warstw tematycznych:

1) obrazu bazowego, którym może być fotomozajka, cieniowana rzeźba terenu, podkład topograficzny, podkład geologiczny itd.,

2) siatki kartograficznej,

3) nazw charakterystycznych i ważnych obiektów (H. Hargitai 2006).

Dostępność nowych i coraz dokładniejszych źródeł danych sprawia, że rośnie liczba opra-

cowań wielotematycznych (integrujących więcej niż wymienione wyżej trzy warstwy). Dla środowisk naukowych najcenniejsze są mapy wielkoskalowe tematyczne lub topograficzne; dla szerokiego odbiorcy bardziej atrakcyjne są opracowania małoskalowe o zasięgu obejmującym w miarę możliwości całą powierzchnię ciała niebieskiego, które powinny zawierać kilka warstw tematycznych o odpowiednim poziomie uogólnienia, tak jak to ma miejsce w przypadku map geograficznych powierzchni Ziemi. Tematem mapy tematycznej obiektów pozaziemskich może być struktura geomorfologiczna lub geologiczna planety, pole grawitacyjne, rzeźba terenu, albedo planety (także historyczne, obserwowane w przeszłości), miejsca lądowania misji kosmicznych. Informacjom tym mogą towarzyszyć treści ogólnoplanetarne.

Rzeźba terenu obiektu pozaziemskiego jest z reguły bardzo zróżnicowana wysokościowo w skali globalnej. Aby uniknąć takich błędów, jak pokazanie nizin jako zagłębień, stosowana jest zróżnicowana skala pionowa w obrębie danej mapy. Istotnym problemem jest również kwestia generalizacji rzeźby terenu (M. Nyrtsov 2001). Kolorystyka map hipsometrycznych jest często odniesiona do prawdziwych barw ciała niebieskiego. W przypadku map cieniowanych kolor bazowy tła może się jednak różnić od barw naturalnych planety, odzwierciedlając dane geologiczne aby podkreślić barwę skał lub zaznaczyć różnice w strukturze geomorfologicznej. Skala barwna rzeźby terenu może nie obejmować krain lodowych, np. okolic biegunów Marsa; wówczas zwykle stosowany jest kolor biały lub biało-niebieski (ryc. 13).

Metoda sygnaturowa może być wykorzystana do pokazania obiektów zbyt małych do przedstawienia w danej skali, ale wciąż wystarczająco istotnych aby zostały zaprezentowane. Przykładem jest zastosowanie symbolu krateru wykonanego na podstawie obrazu radarowego. Podobnie dla większego skupiska kraterów może zostać zastosowany deseni reprezentujący charakterystyczną formę pokrycia terenu – skupisko kraterów (H. Hargitai 2006).

Jak widać, istnieje szereg specyficznych uwarunkowań wpływających na wybór produktu kartograficznego oraz sposób przedstawienia wybranych warstw tematycznych. Zdaniem M. Nyrtsova (2001) można wskazać następujące czynniki wpływające na sposób przedstawienia obiektów pozaziemskich:

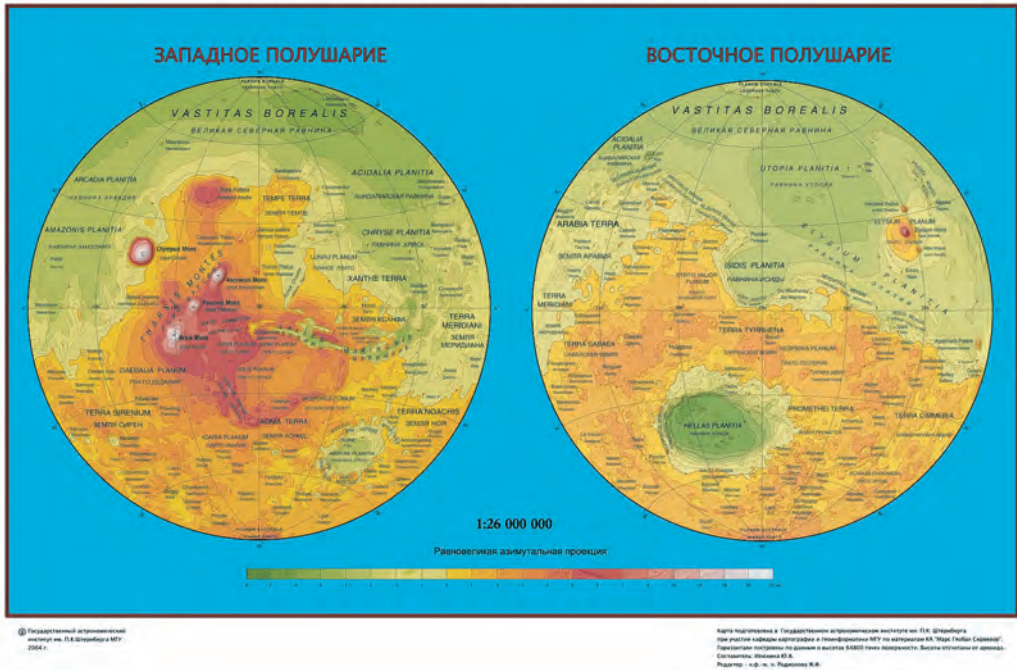
1) czynniki determinujące materiał źródłowy, na podstawie którego wykonywany jest produkt kartograficzny (typ i format dostępnych danych);

2) wymagania dla produktu końcowego (wskazujące, że produktem powinna być np. mapa tematyczna z odpowiednią formą prezentacji danych tematycznych, atlas tematyczny lub model kartograficzny pokazujący rzeczywistą powierzchnię ciała niebieskiego).

3) trudności w pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych teledetekcyjnych.

Istotnym rodzajem produktu kartografii tematycznej Układu Słonecznego są mapy hipsometryczne oraz modele 3D uzyskiwane w wyniku przetwarzania numerycznych modeli terenu. Mapy hipsometryczne mogą służyć nie tylko do pokazania i badania rzeźby terenu, ale również planowaniu misji kosmicznych, miejsc łą-

ГИПСОМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТА МАРСА



Ryc. 13. Hipsometryczna mapa Marsa o różnicowanej skali pionowej <http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=sternbergmars>

Fig. 13. The hypsometric map of Mars with a diversified vertical scale <http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=sternbergmars>

Natomiast według E. Grishakiny i współautorów (2013) główne czynniki wpływające na modelowanie kartograficzne ciał nieregularnych takich jak Fobos i Deimos to:

1) mały rozmiar i nieregularność kształtu, które decydują o układzie odniesienia i dobrze odwzorowania kartograficznego,

2) występowanie typowych form rzeźby terenu (np. kraterów),

3) trudności w pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych teledetekcyjnych. Do opracowań tematycznych należą m.in. mapy geologiczne i geomorfologiczne. Najpopularniejszymi opracowaniami kartograficznymi do szerokiego użytku są globusy (coraz częściej wirtualne) oraz mapy hipsometryczne i cieniowane. Zaletą globusu jako medium kartograficznego są znacznie mniejsze zniekształcenia odwzorowawcze

całej powierzchni planety niż na mapach wykonanych na płaszczyźnie. Zaletą jest także większa dogodność w przedstawianiu obszarów znajdujących się po przeciwległych stronach globu względem siebie, a zatem również lepsza reprezentacja obszarów okołobiegunowych. Na globusie ulegają niewielkim zniekształceniom najbardziej charakterystyczne obiekty powierzchniowe jakimi są kratery. Globus daje zatem odbiorcy najbardziej realistyczny obraz danego ciała niebieskiego, kosztem względnej nieporęczności. Wady tej nie mają dostępne przez Internet globusy wirtualne.

5. Podsumowanie

W okresie ostatnich dwudziestu lat nastąpił znaczny wzrost zainteresowania badaniami kosmosu, w tym obiektów pozaziemskich takich jak planety i ich księżyce, asteroidy oraz komety. Jest to spowodowane coraz większą ilością docierających do Ziemi informacji, a także łatwym dostępem do nich. Rozwój metod po-

zyskiwania danych przestrzennych spowodował, że sondy kosmiczne stały się zaawansowanymi technicznie laboratoriami badawczymi pozwalając na uzyskanie szczegółowych informacji dotyczących ciał niebieskich. Dane obrazowe uzyskane z kamer stereoskopowych, wysokorozdzielczych i wielospektralnych, altymetrycznych pomiarów radarowych i laserowych oraz wielu innych urządzeń pomiarowych są przetwarzane i na ich podstawie wykonywane różnego rodzaju mapy i inne opracowania kartograficzne takie jak cyfrowe modele terenu, globusy, mapy hipsometryczne, geologiczne, geomorfologiczne itp. Opracowania te w sposób syntetyczny pozwalają przedstawić rozmieszczenie obiektów i zjawisk występujących na danej powierzchni ułatwiając w ten sposób wykonywanie badań, odkrywanie nowych obiektów oraz zjawisk. Ze względu na charakter kartowanych powierzchni dotychczas stosowane metody kartograficzne często wymagają modyfikacji.

Literatura

- Bhandari N., 2008, *Planetary exploration: scientific importance and future prospects*. „Current Science” Vol. 94, no. 2, s. 189–200.
- Brzostkiewicz S., 1970, *Najstarsza mapa Księżyca*. „Wszechświat” nr 3, s. 73–74.
- Brzostkiewicz S., 1975, *Dzieje marsjańskiej kartografii*. „Urania” R. 46, nr 3, s. 66–73.
- Grishakina E., Lazarev E., Lazareva M., 2013, *Cartographical aspects of Martian moons modelling*. W: „Proceedings of XXVI International Cartographic Conference”, Dresden, http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013.
- Hargitai H., 2006, *Planetary maps: visualisation and nomenclature*. „Cartographica” Vol. 41, no. 2, s. 149–164.
- Hargitai H., Gede M., 2009, *Three virtual globes of Mars: topographic, albedo and a historic globe*. W: „European Planetary Science Congress Abstracts”, T. 4, EPSC2009-47, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2009/EPSC2009-47.pdf>.
- Kirk R.L., Archinal B.A., Gaddis L.R., Rosiek M.R., 2007, *Cartography for lunar exploration: current status and planned missions*. W: „Proceedings of the XXIII International Cartographic Conference”, Moskwa, http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm.
- Kolb E., 1996, *Ślepi obserwatorzy nieba; Ludzie, których idee ukształtowały nasz obraz Wszechświata*. Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Kryszewski W., 1985, *Encyklopedia powszechna PWN*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Marks A., 1969, *Kartografia Księżyca*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 1, nr 3, s. 1–7.
- Moore P., 2002, *Philip’s Astronomy Encyclopedia*. London: Philip’s.
- Nass A., van Gasselt S., 2013, *Archiving and public dissemination of planetary geologic and geomorphologic maps*. W: „Proceedings of: Sharing Knowledge Symposium” s. 17–20, <http://planetcarto.files.wordpress.com/2012/04/04nass-gasselt.pdf>.
- Nass A., van Gasselt S., Jaumann R., Asche H., 2011, *Requirements for planetary symbology in GIS*. „Advances in Cartography and GIScience” Vol. 2, s. 251–266.
- Nyrtsov M.V., 2001, *The problem of mapping irregularly shaped celestial bodies*. W: „Proceedings of XX International Cartographic Conference”, Beijing, http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2001/icc2001/file/f26001.pdf.
- Piekuth M., 1973, *Współczesne globusy Księżyca*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 5, nr 2, s. 67–69.
- Piekuth M., 1984, *Mapy księżyców odległych planet układu słonecznego*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 16, nr 2, s. 76–77.
- Rutkowski J., 1979, *O nazewnictwie na mapach Księżyca*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 11, nr 3, s. 107–114.
- Shingareva K.B., Karachevtseva I.P., Chrepepa-

nova E.V., 2007, *Extraterrestrial mapping. Analyses and perspectives*. W: „Proceedings of the XXIII International Cartographic Conference”, Moscow, http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm.

Wahlisch M., Stooke P.J., Karachevtseva I.P., Kirk R., Oberst J., Willner K., Nadejdina I.A., Zubarev A.E., Konopikhin A.A., Shingareva K.B., 2013, *Phobos and Deimos cartography*. „Planetary and Space Science”, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2013.05.012>.

Źródła internetowe

<http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>
http://galileo.rice.edu/sci/harriot_moon.html
<http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=hevelius1647>
<http://planetologia.elte.hu/ipcd/madler.jpg>
http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=schiaparelli_mars_maps
http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=robinson_composite
<http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=hydromars>

http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=moon_globe_1987
<http://planetologia.elte.hu/ipcd/ipcd.html?cim=sternbergmars>
http://www.mentallandscape.com/C_CatalogMoon.htm
http://www.lpi.usra.edu/resources/lunar_orbiter
<http://www.lpi.usra.edu/resources/apollo>
<http://www.lpi.usra.edu/resources/rangers>
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00126>
http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/06/Danielson_and_Kalocsa_craters
<http://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/images/?ImageID=6013>
<http://www.nasa.gov>
<http://www.esa.int>
<http://www.federal-space.ru>
<http://global.jaxa.jp>
<http://www.cnsa.gov.cn>
<http://www.isro.org>
<http://pds.jpl.nasa.gov>
<http://webgis.wr.usgs.gov/index.html>
<http://planetarynames.wr.usgs.gov>

Streszczenie

Od czasów starożytnych do początku XVII wieku przyjmowano, zgodnie z założeniami teoretyczno-filozoficznymi Arystotelesa, że powierzchnia planet, za wyjątkiem Ziemi i Księżyca jest idealnie gładka i jednorodna. W 1609 roku Galileusz zaobserwował za pomocą teleskopu łańcuchy górskie i kratery na powierzchni Księżyca oraz plamy na powierzchni Słońca. Przed nastaniem ery misji kosmicznych głównym celem obserwacji był Księżyc. Pierwsze szczegółowe mapy Księżyca wykonali Michel Florent van Langren (1645) oraz Jan Heweliusz (1647). W 1877 roku Giovanni Virginio Schiaparelli opublikował pierwszą szczegółową mapę Marsa. Kolejny ważny okres w rozwoju kartografii planetarnej nastąpił na przełomie XIX i XX wieku, z chwilą zastosowania fotografii do badań astronomicznych.

W czasach nowożytnych (lata sześćdziesiąte do początków lat dziewięćdziesiątych XX wieku) można wyróżnić trzy główne kierunki kartowania planet. Pierwszy kierunek wiąże się z mapami opracowywanymi jako rezultaty analiz i generalizacji danych pozyskanych podczas obserwacji prowadzonych z powierzchni Ziemi. Na szczególną uwagę zasługują opracowania służące wspomaganiu programu Apollo. Inny kierunek rozwoju kartografii planetarnej wiązał się z badaniami opartymi na metodach radarowych takich ciał jak Merkury i Wenus. Pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku wyłonił się trzeci kierunek związany z redagowaniem map na podstawie danych pomiarowych zebranych przez pojazdy zdalne, w tym sztuczne satelity, sondy kosmiczne oraz po-

jazdy, które skutecznie wylądowały na powierzchni obcych planet.

W okresie od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku do chwili obecnej kartografia planetarna rozwija się dzięki dokładniejszym danym źródłowym pozyskanym w ramach nowych misji kosmicznych, takich jak europejska misja Mars Express oraz dzięki zastosowaniu technologii GIS-owych. Ważnym wydarzeniem było powołanie w 1999 roku Komisji Kartografii Planetarnej Międzynarodowej Asocjacji Kartograficznej. Celem komisji jest harmonizacja międzynarodowej aktywności kartograficznej oraz wspieranie upowszechniania produktów kartografii planetarnej.

Współcześnie sondy kosmiczne wyposażone są w zaawansowane technologicznie instrumenty pomiarowe. Stanowią autonomiczne, w pełni zautomatyzowane laboratoria naukowo-badawcze. Pozwalają na pozyskiwanie różnorodnych danych, m.in. o topografii terenu, budowie geologicznej i chemicznej planet, polu grawitacyjnym i magnetycznym i wiele innych. Włączanie się kolejnych państw w rozwój badań kosmicznych powoduje znaczny wzrost ilości danych docierających na Ziemię, co przyczynia się do wzrostu wiedzy o ciałach niebieskich. Zgodnie z postanowieniami międzynarodowymi wiedza o obiektach pozaziemskich powinna być ogólnie dostępna. Dane udostępniane są szerokiemu gronu odbiorców poprzez serwisy internetowe. Najpopularniejszym z nich jest opracowany przez NASA System Danych Planetarnych, który archiwizuje i udostępnia dane z amerykańskich misji kosmicznych, obserwacji astro-

nomicznych oraz pomiarów laboratoryjnych. Dane udostępniane są bezpłatnie na stronie <http://pds.jpl.nasa.gov/>.

Dane z misji kosmicznych są przetwarzane i na ich podstawie wykonuje się mapy i inne opracowania kartograficzne. Aby prawidłowo przedstawić informację o kształcie i powierzchni ciała niebieskiego, kartograf musi podjąć decyzję o rodzaju prezentacji kartograficznej (globus, mapa, atlas itd.), odwzorowaniu kartograficznym, skali oraz użytych metodach prezentacji kartograficznej. Dokładność danych źródełowych oraz przeznaczenie produktu końcowego decydują o wyborze skali opracowania. Skala oraz definicja powierzchni odniesienia, szczególnie w przy-

padku ciał o nieregularnym kształcie decydują o doborze odwzorowania kartograficznego oraz sposobie podziału na arkusze. Większość ciał niebieskich cechuje się silnym zróżnicowaniem rzeźby terenu oraz znaczącym udziałem kraterów w krajobrazie, jednakże indywidualne różnice w morfologii sprawiają, że zasady wizualizacji kartograficznej muszą być odpowiednio modyfikowane dla każdego obiektu. Wśród map wykonywanych w celu popularyzacji wiedzy dominują opracowania małoskalowe, takie jak wirtualne globusy. Wśród opracowań wykorzystywanych przez różnego rodzaju specjalistów i naukowców dominują średnio- i wielkoskalowe mapy tematyczne.

PAWEŁ PĘDZICH, KAMIL LATUSZEK

Department of Cartography, Warsaw University of Technology

ppedzich@gik.pw.edu.pl

kamil.latuszek@wp.pl

Planetary cartography – history, source data, methodology

Abstract. The article is the first in the series of two articles outlining the problems of planetary cartography. The article is a review, it presents, among others, the outline of history of celestial bodies mapping, to begin with the first map of the Moon developed on the basis of telescoping observation, to contemporary maps based on measurements made by the space probes. It characterizes the basic data sources and presents the development of data obtaining methods, the article describes the most important space missions from the pioneer Soviet expeditions to current research of Mars and asteroids, it also presents some aspects of extraterrestrial objects mapping methodology.

Keywords: maps of planets, maps of moons, maps of asteroids, history of planetary cartography, space missions

1. Introduction

Planetary cartography is one of the most intensively developing branches of cartographic research. The area of its interest is mapping extraterrestrial objects such as planets, planets' natural satellites, asteroids¹ and comets.

Data used in works on these maps come from technologically advanced equipment that is constantly being improved. Such instruments allow to discover and study in detail objects and phenomena occurring far beyond our planet, hitherto unknown to mankind. Space probes equipped in research laboratories land on other planets surface and reach the furthest areas of the Solar system. The enormous quantity of data is send back to Earth, next the data is processed and made accessible in forms of maps of various types: albedo², topographic, geological, geomorphic etc. For many years the Commission on Planetary Cartography works within the International Cartographic Association, dedicated to the research and the dissemination of this field of cartography. It gathers not only people professionally involved in celestial bodies mapping, but most of all many enthusiasts from all over the world, for whom the space exploration is the biggest passion.

¹ The asteroid (planetoid) – a small rocky or metallic celestial body orbiting the Sun, usually an irregular block of a few kilometers diameter (P. Moore et al., 2002).

² Albedo in is defined as a ratio of the light reflected from the celestial body surface to the total amount of the light shining on it. For the Solar system bodies, the main source of radiation that can be reflected is the Sun. Albedo's value is between 0 and 1. (P. Moore et al., 2002).

In this and the next article authors present issues of planetary cartography. The first article is a short historical outline of planetary cartography and the features of selected space missions in the context of collecting data for cartographic studies as well as a discussion on selected methodological aspects of cartographic studies. In another article the authors will describe cartographic studies carried out in the world, map projections used in process of developing maps of celestial bodies and the new challenges facing planetary cartography.

2. Planetary cartography – history outline

In the late sixteenth and early seventeenth century great scientists such as Copernicus, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei and Isaac Newton made a revolution in cosmology and astronomy. The Ptolemy's geocentric system by which planets move on circular deferents and epicycles, was replaced by Copernicus' heliocentric system, where planets move on elliptical orbits according to three phenomenological Kepler's laws explained by Newton's law of universal gravitation. It also occurs that contrary to assumptions of ancient Greece scholars, it is not true that the surface of celestial bodies (with the exception of the Earth and the Moon) is not perfectly homogeneous and planar (E. Kolb 1996).

Before the telescope was invented the knowledge about planets' surface was based on theoretical and philosophical assumptions introduced by Aristotle. According to the philosopher the Universe was divided into two parts: terrestrial and celestial. In the terrestrial part all bodies are composed of four elements: earth, water, air and fire. Celestial bodies such as the Sun, stars and planets are made of the fifth element called the quintessence, which is a pure and perfect substance. The Moon is the only celestial body so close to the Earth, that although it consists mainly of the quintessence, it can be contaminated with small quantities of terrestrial elements, which is an explanation of the blemishes on its surface. Irregularities of surface were not observed in ancient times, in case of other celestial bodies (E. Kolb 1996).

A more detailed research of planets' surface was possible due to invention of the telescope in the Netherlands in 1608. A year later, in 1609 an Italian astronomer Galileo Galilei began the

observation of the sky with his own telescope and made critical discoveries, that were described in 1610 in a work *Sidereus Nuncius* (The Astral messenger). The astronomer managed to observe among others four of Jupiter's moons (previously no moons of planets, except for the Earth, were known) and sunspots. The blemishes on the surface of the Moon were proven to be mountain peaks and craters (E. Kolb 1996).

Galileo pictured his Moon observations results on a series of simple drawings (fig. 1), that are difficult to be called maps. In 1609, a year before Galileo, an Oxford mathematician Thomas Harriot based on his observations made with a use of the telescope, developed a map (fig. 2), much more detailed than Galileo's drawings. The contours of the lunar seas are quite precise, moreover there is about 40 craters marked (S. Brzostkiewicz 1970).

The telescope and photography that was invented later was a main tool for data collection on planets' surface before the space missions era (beginning of 17th to half of 20th century). The Moon was the most common object of observation, due to its proximity and the lack of atmosphere that could disrupt the observations. The Dutch astronomer and cartographer Michel Florent van Langren is the author of the first detailed map of the Moon dated 1645. This map illustrates lunar seas, craters and mountains. The first map of the Moon that took into account the libration³ zones (fig. 3), was made by Johannes Hevelius and published in 1647 in the work *Selenographia* (K. Shingareva et al. 2007, H. Hargitai 2006). This work included among others several dozens of drawings of the Moon and its globes and three maps. On these maps Hevelius gave the lunar objects names taken from the geography of the Earth: these are the names of mountains, bays and the caps. He also introduced the term "sea" for the dark, vast areas on the visible side of the Moon. These names were not adopted in cartography of the Moon. Only seven of them lasted until the present day (J. Rutkowski 1979).

³ Libration of the Moon is a phenomenon where the points of the surface of the Moon change their positions with respect to the connective line between the centre of the Moon and the observant. The libration is caused by the ellipticity of the lunar orbit, the inclination of the axis of the Moon rotation to the plane of its orbit, the Earth's rotation and non-sphericity of the Moon. (W. Kryszewski 1985).

From the early period of selenography development it is worth to follow A. Marks (1979) and mention a few leading scholars and their works: Tobias Mayer – the first designation of selenographic coordinates of several dozens of objects on the Moon's surface; Johannes Schröter – the first measurements of the brightness of the objects on the lunar surface; Johannes Mädler – the measurements of the height of 1000 mountains and the diameter of 150 craters, 7755 details on the map; Julius Schmidt – the atlas of 25 sections, scale 1:783,200, it included 32,856 craters and the height of 3,050 mountains; until 1910 it was the most detailed atlas of the Moon.

Aside from that tens of other maps, atlases or globes of the visible hemisphere of the Moon were developed.

Christopher Wren, a famous English architect and astronomer is considered to be the creator of the first globe. In the mid-eighteenth century an eminent expert on the Moon was interested in the lunar globes, and by the end of eighteenth century – John Russel. The beginnings of a mass production of lunar globes reach 30s. of the 19th century. The Wiener cartographer Riedel von Leuenstern is considered to be the first commercial manufacturer of lunar globes. The globes in the past represented only the 3/5 of its surface (the hemisphere visible from the Earth). The accuracy was decreasing with the distance from the centre of the lunar disc (M. Piekuth 1973).

Another important period in the development of the lunar cartography occurred at the turn of 19th and 20th centuries with the application of photography into the astronomical research. The first photographic lunar atlases were developed between 1886–1910 by M. Loewy and P. Puisaux in the Paris Observatory and at the same time in the United States by S. Burnham and E. Holden (A. Marks 1969).

In case of Mercury and Mars only albedo maps were made; for Venus such information was merely hypothetical according to a high density of the atmosphere. Observations carried out from the Earth did not give the opportunity to develop small objects maps and moons of gas giants.

In 1830 German astronomers Wilhelm Beer and Johannes Mädler had started an observation of the Mars surface. Their work resulted in the first map of Mars (fig. 4) with a marked zero

meridian and entered aerographic coordinates Ares (gr.) = Mars (lat.) (S. Brzostkiewicz 1975).

In 1877 an Italian astronomer Giovanni Virginio Schiaparelli had published the first detailed map of Mars based on micrometric measurements (fig. 5) (S. Brzostkiewicz 1975). Unlike the most of maps of that time it had an orientation whereby the north was shown at the top (the telescopes gave the inverted picture, so in the majority of maps the south appeared at the top). Schiaparelli had observed the optical illusion, in result he mapped the non-existent objects, linear *canali* (channels he gave names of famous earth rivers).

Among other map authors of this period it is worth to mention Eugeniusz M. Antoniadi and Kazimierz Romuald Graff, whose maps are among the most valuable works of Martian cartography.

Since 1924 visual observations of Mars have begun to be combined with the photographic observations. A French astronomer Gerard de Vaucouleurs used this technique since 1924 while he worked on the map of this planet. Observations made between 1939–1941 were used to develop one of the most precise maps of Mars (S. Brzostkiewicz 1975).

In modern times (1960s to early 1980s) we see three main trends of planets mapping. The first trend is related to maps developed as analysis results and generalization of data obtained during observations from the Earth. The works on the visible side of the Moon are particularly important support of Apollo programme. Such works are *Lunar Astronautical Chart* on 44 sheets at scale 1:1,000,000 and *Apollo Intermediate Chart* at scale 1:500,000, equatorial area on 20 sheets. Another trend of planetary cartography development is based on the research of Mercury and Venus using radar methods. That led to discovery of craters on the surface of these planets and gave the possibility to present them on the first diagrammatic maps. For Mars maps were made at scale 1:5,000,000 on 30 sheets, for Venus on the basis of radar and radio measurements, maps at scale 1:5,000,000 on 27 sheets were developed for 30 percent of area. Parallel to these works by the end of 1960s the third trend related to map editing emerged. Maps were developed based on measurement data collected by the remote vehicles including artificial satellites, space probes and vehicles that

managed to land on other planets. The photographs and television signal were broadcasted to the Earth and processed with analytical photogrammetric methods. At first the whole effort was focused on the Moon exploration. The measurements made by the Moon artificial satellites (MAS) allowed to plan landing spots and works on large scale maps (1:25,000) covering also the side of the Moon impossible to see from the Earth. The US Apollo programme resulted in six landings of man on the Moon between 1969 and 1972. The microrelief of the Moon was presented on the topographic plan prepared using data collected by the first remote vehicle – Lunokhod. The data collected during the Apollo programme were used in preparation of the series of 1:250,000 scale maps, covering the 25% of the Moon's visible hemisphere. After unmanned missions landed on the lunar surface, the first topographic plans were made (K. Shingareva et al. 2007).

It is worth to note that in 1971 the first Polish wall map of both lunar hemispheres, was issued. The 1:4,000,000 map designated for educational purposes has been developed by A. Marks and published by the State Cartographic Publishing House. In 1972 the scale of this map was reduced to the scale 1:12,000,000 and published in a pocket form (J. Rutkowski 1979).

The Mariner spacecraft took pictures of the Mars surface. The photographs received from Mariner 9 between 1971–1972 give the possibility to develop the first map of the whole surface of Mars. Such map made by the employees of the Jet Propulsion Laboratory in the first half of 1972. At that time the pictures of the north pole were unavailable, so the map does not cover the areas above 50 degrees north aerographic latitude. This map was prepared using Mercator projection (S. Brzostkiewicz 1975).

Due to sending spacecrafts, the measurements of Galilean moons of Jupiter, some moons of Saturn, Uranus and Neptune, were possible.

Photos taken by the Voyager enabled in 1979 the development of the first maps of Jupiter's moons. A year later the photomaps prepared by the Voyager Imaging Science Team and the Jet Propulsion Laboratory were published by the U.S. Geological Survey. These are maps of four moons at 1:25,000,000 scale: Io, Europe, Ganymede and Calisto. Based on the photos taken by these probes in 1982, the

first maps of 6 Saturn moons were developed: Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Thea and Titanium. Maps at scale of 1:5,000,000 (Enceladus and Mimas) as well as 1:10,000,000 (other moons) contain a wealth of information regarding details of the moon's surface relief (M. Piekuth 1984).

The period since the early 1990s until the present day brings new possibilities of planetary cartography development. It goes along the development of computer technologies, digital cartography, methods of three-dimensional space modelling as well as intensification of space missions and development of measuring equipment. As a result of radar scanning of Venus from the VAS orbit (Venus artificial satellite) between 1990–1994 the amount of data sent to the Earth was sufficient to compose not only geographic but also thematic maps. Despite a few unsuccessful research starts to Mars at the beginning of 1990s, further research allowed to gather a significant source material presented in form of thematic maps: geological, geomorphologic and others. The result of the launch of Clementine spacecraft to the moon in 1994 was the collection of multispectral image data to be used in thematic works in a global scale. The moons of gaseous giants and asteroids of the solar system main belt are in the researchers area of interest. The first European space mission gathering the high resolution multispectral stereoscopic images – the Mars Express has been launched to the orbit in 2004. Other examples of planetary exploration by the European organizations are following missions: Venus Express, ExoMars, BepiColombo, JUICE. A very significant achievement was making the measurements of Eros asteroid from the level of its orbit (A. Nass, S. Gasselt 2013, K. Shingareva et al. 2007).

There is a search of new cartographic imaging for mapping asteroids and other small, irregular shapes various from ellipsoidal. The moons of the Mars: Fobos and Deimos had been the first irregular celestial bodies observed with high precision by the artificial satellites. Until the present day it is an important test field for development of the new mapping techniques of objects of such morphology. Mapping of moons-planetoids has evolved from the sketches of geologic structures in 1970s to the global, digital processing of orthoimages. The remote

sensing images have become an impulse to develop new cartographic projections, that accuracy justifies the bigger scale studies (M. Wählisch et al. 2013).

An important factor that has been influencing the development of planetary cartography since the beginning of 1990s is the application of database solutions and GIS technology. The system presented during the ISPRS International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Workshop in 2003 in the Netherlands is an example of the first use of GIS technology in planetary cartography. Nowadays the data is collected in a digital form, also the analogue resources from the prior periods of space exploration are processed into a digital format. The digitalization of the analogue data is insufficient. The transfer of this data into the file formats enabling its integration with the GIS database, takes a lot of effort. The standardization of description and the classification of data and maps are important in the process of data collection and the development of planetary data models. In future, it is necessary to create a comprehensive software for the Solar System objects mapping, based on the international standards. According to the international law, the information on extraterrestrial areas are a property of all mankind. The Commission on Planetary Cartography ICA was established in 1999. Its purpose is to harmonize the international cartographic activity and the development of the reference materials in order to support the global dissemination of planetary cartography products (K. Shingareva et al. 2007, A. Nass et al. 2011, A. Nass, S. Gasselt 2013).

An interesting and important aspect of planetary cartography evolution is the process of naming the topographic objects on the celestial bodies surface. The names of objects on the lunar surface dated 1645 given by Langren were derived from the names of kings and saints of that time (and Langren himself). Hevelius ignored this nomenclature and used the European geographic names. It was supposed to be easy to remember (H. Hargitai 2006).

A breakthrough in the lunar naming came in 1651. It was when the map of an Italian astronomer John Battista Riccioli was published. That map introduced poetic names of 20 seas, gulfs and lakes, e.g. Seas: of Rain, Nectar, Peace, the Lake of Dreams, the Rainbow Gulf the Marsh of Mists. All 20 names survived until

today and the sea areas are still named according to the Riccioli model (J. Rutkowski 1979).

P.A. Secchi used the names of well-known explorers while naming the objects on Mars visible from the Earth (1850), R.A. Proctor the names of astronomers (1864), G. Schiaparelli names derived from the Bible and from the Greek mythology (1877). Since 1959 the Russians had the exclusive right of object naming on the far side of the Moon, and named them in honour of the Soviet scientists and engineers. In 1970 IAU Working Group on Lunar Nomenclature took advantage of the international approach and had adopted over 500 names, mostly Soviet and American for the objects of that hemisphere. For the majority of objects on the Mars and the Moon IAU have adopted and developed the most „neutral” methods of Riccioli and Schiaparelli, filling the list with the names of deceased scientists (H. Hargitai 2006).

The exploration of planets and their mapping are cumulative processes. The database for analysis and interpretation is continuously growing. The planetary cartography is a very important part of research on the space exploration since 1960s. Many shaded, topographic and thematic maps appears dedicated to the scientific environment in order to disseminate the knowledge. These products are the result of the interpretation, abstraction and processing data collected mainly with the remote sensing methodology (A. Nass, S. Gasselt 2013).

3. Obtaining the source data for cartographic presentations of the celestial bodies

Before the first spacecrafts were sent into space, the primary source of data used in developing maps of the sky, planets and other extraterrestrial bodies were the observations conducted from the Earth carried out with the use of optical telescopes. The Moon was the main subject of these observations. Its proximity to the Earth and the lack of atmosphere allowed to develop dozens of maps and atlases of the visible lunar hemisphere. The detailed maps of other celestial bodies were impossible to compile.

The exploration of the space begun with the launch of the first artificial satellite Sputnik 1, by the USSR. It was launched into the orbit in

October 1957. It was equipped with two radio transmitters and the signals received on the Earth were used to study the electron density in the ionosphere.

The first target of space missions was the Moon. The history of modern research of the Moon can be divided into two periods. The first period begins by the end of the fifties of the XX. century with the automated spacecrafts and ends twenty years later with the last Apollo missions. After a long break, the nineties of the XX century become a renaissance of the space exploration of the Moon including the Clementine and Lunar Prospector missions.

The scientists from the Soviet Union were the pioneers of natural Earth's satellite research. The first probe called the Luna 1 was launched on 2 January 1959, the second probe – Luna 2 reached the Moon on 13 September 1959. The third spacecraft – Luna 3 was launched to the Moon on 4 October 1959, it was equipped with two automatic cameras that took a series of photographs of the far side of the Moon. These photographs were automatically processed and fixed and later send via telegraph to the Earth (A. Marks 1969). The first controlled Moon landing was performed by Luna 9 in 1966, and the first spacecraft that came back to the Moon with the samples of the lunar soil in 1970, was Luna 16. The first lunar rover Lunokhod 1 was placed by Luna 17 in 1970. These missions brought a lot of data in forms of films and pictures (fig. 6) that were used during works on the maps. The pictures from the above mentioned missions are available on the website: www.mentallandscape.com/C_CatalogMoon.htm (K. Kirk i inni 2007).

The United States of America attempted to overtake the Soviet Union in the race to conquer space. The Americans aimed to send a man to the Moon. They have managed to do that in 1969. It was preceded with many preparatory missions, collection of data and preparation of new lunar maps. Many spacecrafts equipped with the new measurement equipment were launched. For example the aim of the Lunar Orbiter mission was to take the high resolution photos to identify the future Apollo missions landing spots. Every probe was equipped with the medium resolution 80-milimeter camera and the high resolution camera with a focal length 610 mm. Scanned images are available

at: www.lpi.usra.edu/resources/lunar_orbiter. Starting from the Apollo 8 mission in 1968, the astronauts used manual 70-milimeter cameras to take pictures of the Moon from the orbit. The Apollo 11, 12, 14, 15, 16 and 17 allowed to take pictures and films from the surface of the Moon (fig. 7). They were digitalized with a 72 dpi resolution and published at: www.lpi.usra.edu/resources/apollo. However only the Apollo 15, 16 and 17 (1971 and 1972) had been using the camera system for cartography purposes – metric camera, panoramic cameras, cameras for stars photography and the laser altimeter.

In the 1960s. many missions were sent to the Moon. It is worth to note the Lunar Rangers missions. The spacecrafts were equipped with cameras allowing the frame transmission of television images of 800×800 and 200×200 pixels. During the Ranger 7,8 and 9 missions in 1964 and 1965 the data with the highest 25 cm resolution were obtained (around the point of the probe collision with the surface of the Moon) they are available at: www.lpi.usra.edu/resources/rangers (K. Kirk et al. 2007).

In the last five years the Clementine, Lunar Prospector and Smart-1 mission were sent, they allowed to collect the data used in preparation of image maps in different spectral bands, and to get much information on topography, gravity, albedo and the chemical and mineral composition of the lunar surface. Space agencies from other countries joined the space exploration. Except NASA and Russian Federal Space Agency (Roskosmos) activities are also run by: the European Space Agency (ESA), the Japanese Space Agency (JAXA), the Chinese National Space Agency (CNSA), the Indian Space Research Organization (ISRO). The missions sent by them are among others: Kaguya, Selene, ChangE'-1, ChangE'-2, Chandrayaan-1, Lunar Reconnaissance Orbiter and Robotics Lunar Exploration Programme.

The Galileo spacecraft sent to explore the Jupiter in 1990 and 1992 took pictures of the Moon (fig. 8). For the first time it was equipped with the CCD cameras, that caused an improvement of geometric stability and radiometric calibration of images.

The Clementine spacecraft launched in 1994 was the first new ship for twenty years that circled the orbit and observed the Moon. It was equipped with a camera for stars observation, a laser altimeter and four CCD small-format

cameras for the Moon mapping and observation. The cameras allowed to obtain the images covering the whole surface of the Moon in five spectral bands.

Lunar Prospector was the NASA probe, in 1998 and 1999 it was circling around the Moon and its poles. There were gamma, neutron and alpha ray spectrometers installed on board, to examine of what kind of elements is the surface made of. The Lunar Prospector had also held the magnetometer and the electron reflectometer to detect the residual magnetic field and a device to designate the gravity field.

The ESA mission SMART-1 ended in 2006 with the intentional collision with the lunar surface. About 32,000 images covering the whole surface with a resolution of 250m/pixel and the south hemisphere with a resolution 100 m/pixel.

Kaguya – the Japanese mission has begun the Moon research in 2007. The aim of this mission was to obtain the cartographic data with the three devices: the so called Terrain Camera (TC) – land imaging camera – 10 m resolution scanner, multispectral camera with a 20 m resolution in visible range and 60 m resolution in 4 ranges of near infrared, laser altimeter collecting data from the 1.6 km wide lane along the spacecraft track with a 5 m resolution (www.jaxa.jp).

Change'1 orbiter – the Chinese spacecraft launched in 2007 with a CCD stereo camera of 3-directions observation: the nadir forward and backward of 17 degrees inclination angle with 120 m resolution and the laser altimeter with a 200 m wide scanning lane and 5 vertical resolution, imaging interferometer with 200 m resolution and wave length range between 0.48-0.96 μm .

Chandrayaan-1 – the Indian spacecraft launched in 2008 equipped with four instruments for global mapping of the lunar surface: TMC (Terrain Mapping Camera) – camera of 3-directions observation: the nadir forward and backward of 17 degrees angle in the 40 km lane and 5 m spatial resolution, LLRI (Lunar Laser Ranging Instrument) a laser altimeter of 5 m vertical resolution, M3 (Moon Mineralogy Mapper) of 140 m/pixel resolution for global mapping and 70 m/pixel for local scanning and the SAR radar system – radar Mini-RF, that explores the circumpolar areas.

Lunar Reconnaissance Orbiter – the 2008 mission with three instruments – cameras sys-

tem, laser altimeter and SAR radar system (K. Kirk i inni 2007).

In 2012 the two NASA GRAIL missions were completed. Their purpose was to broaden the knowledge on the gravity field of the Moon.

The Viking 1 and 2 were the first to provide information on Mars. In frames of those missions in 1975-76 the research of the biological activity on the planet were conducted. Many various missions were sent in order to explore Mars in following years, among others the landing on Mars, using vehicles moving on the surface of the planet and the spacecrafts orbiting the planet. Over the last decade the spacecrafts Mars Global Surveyor (launched in 1996), Mars Odyssey (2001) and Mars Express (2003) have provided a large amount of the high resolution image data and data on objects on the surface of the planet, its climate, atmospheric processes and the magnetic field (fig. 9).

The biggest success proved to be the missions of the rovers Spirit, Opportunity and Curiosity. Equipped with many imaging instruments such as panchromatic cameras, microscopes and devices used in research of mineral composition, texture and the structure of the rocks such as Mössbauer spectrometer and spectrometer of X-ray alpha particles (N. Bhandari 2008).

Placing the Curiosity rover on the surface of Mars in frames of the Mars Science Laboratory was a great success. The Curiosity is an automatic and independent research laboratory. The purpose of this mission is to evaluate if in the past the conditions for life existed on the planet. The Curiosity has begun its research on 6 August 2012, and it is still being continued (fig. 10).

The first mission that obtained information about Mercury, was the Mariner 10 in the mid 1970s it flew several times next to the planet and took a few pictures of its surface. In 2004 NASA launched the Messenger spacecraft to Mercury, that reached its orbit in 2011. The spacecraft is equipped with many devices to explore the planet including a set of two cameras narrow and wideband to collect images and topographic data, moreover the gamma radiation and neutron spectrometer that allows to determine the relative content of elements building the planet, the X-ray spectrometer, the magnetometer, laser altimeter obtaining the altitude data used in the topographic maps, spectrometer of atmosphere and surface com-

position, energy particles and plasma spectrometer and a radio device used for Doppler speed measurement of the ship while orbiting Mercury, which in turn will help to determine the mass distribution under the planet's surface (N. Bhandari 2008).

Between 1961–1983 Venus was one of the main targets of the USSR space exploration. The series of Venera mission with landers and orbiters was sent. The American Magellan Missions (NASA) brought information on the atmosphere and the conditions on the surface of Venus. The mission was sent to conduct the radar research. It allowed to develop the surface of Venus impossible to see in the visible light due to the thick cloud layer. The spacecraft studied the gravity field of the planet and measured the surface with the radar altimeter (N. Bhandari 2008). In 2005 the European Space Agency (ESA) launched the Venus Express spacecraft with measurement devices onboard. The mission was supposed to examine the planet with the use of the Planetary Fourier Spectrometer (PFS), constructed by the Space Research Centre of the Polish Academy of Sciences.

The first flights around the Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune were performed by the Pioneer 10 and 11 and Voyager 1 and 2 spacecrafts (launched in the seventies of the XX. Century) They allowed to develop maps of the planets and their moons. The July Pioneer 10 and 11 took the radar measurements of 3 of Jupiter's moons but only the images from Voyager were used in works on maps of Jupiter's moons: Io, Europe, Ganymede and Calisto. In November 1980, Voyager approached Saturn and had begun taking the pictures of Mimas, Dione and Rhea moons, and next from a distance – Thetys, Enceladus and Iapetus and Hiperion. The purpose of Voyager 2 mission was to complete the data sent by Voyager 1. Moreover Voyager 2 sent the Earth the first pictures of Phoebe, the most distanced Saturn's moon (M. Piekuth 1973).

Furthermore the Galileo and Chandra missions allowed to study the atmosphere and moons of these planets. They all have brought many discoveries on the dynamic and the structure of the ring system and surface properties of the moons. For example the Galileo missions let to discover the structure of Ganymede surface and the evidence for water ex-

istence on Europe- the Jupiter's moons. The Cassini-Huygens mission brought pictures of geysers eruption on the Enceladus, the small moon of Saturn. These mission also allowed to study the atmosphere and features of the Titanium – the moon of Saturn.

Most of the missions aimed at studying the asteroids were passage missions. The 9969 Braille asteroid was the first observed by the Deep Space NASA probe. On 29 July 199 the probe passed the asteroid at the distance of 26 km. The NEAR mission Shoemaker (Near Earth Asteroid Rendezvous) launched in 1996 to explore the 433 Eros asteroid surface, conducted the analyses of its surface with the use of various remote sensing instruments. In 1996 the same probe took pictures of the Hyakutake comet and in 1997 for the first flew by the asteroid 253 Mathilde. The asteroids 951 Gaspra and 243 Ida were illustrated by the Galileo spacecraft. The Hayabusa mission from JAXA took the first samples of the Itakawa asteroid in October 2005 (N. Bhandari 2008). In 2007 NASA had launched the DAWN mission to explore the two biggest asteroids 1 Ceres and 4 Vesta. In 2011 the spacecraft was placed at the orbit of Vesta, and in 2015 it is planned to place a probe at the Ceres orbit.

The missions described above are only a small part of all missions launched in the history of space exploration. The purpose of each mission was to conduct the research and obtain data for various studies, including the cartographic studies. Over the sixty years an enormous amount of data was collected. From the poor quality images of the Moon's surface from the end of the fifties of the XX century to the image data from the stereoscopic, high resolution and multispectral cameras, altimetry laser measurements, radar instruments and many other measurement devices. The development of measurement technologies made the spacecrafts technically advanced, fully automatic research laboratories. The data from the space missions after reaching the Earth are calibrated, processed and mosaic. The stereo analyses are made in order to obtain the digital land models of the local, regional and global range. They are a data source for various maps development.

The information on the space mission and the data brought are available mostly on websites of space and astronomic agencies NASA

(www.nasa.gov), ESA (www.esa.int), Roskosmos (www.federal.space.ru), JAXA (global.jaxa.jp), CNSA (www.cnsa.gov.cn), ISRO (www.isro.org).

One of the best data sources is developed by NASA – Planetary Data System (PDS), that stores and provides access to the data from the American space missions, astronomical observations and laboratory observations. The data are available free of charge at the <http://pds.jpl.nasa.gov/>. It is also worth to note the project of The United States Geological Survey called PIGWAD (Planetary Interactive G.I.S.–on–the–Web Analyzable Database), that resulted in a website providing the planetary data. The main objectives of this project are:

- development of the user-friendly Web interface supporting the geographic information system in the field of graphic, statistic and spatial tools for planetary data analysis;
- dissemination of educational materials, tools, programmes and information;
- creating the planetary database containing the digital geological, topographic maps and remote sensing data;
- encouraging the use of GIS technology in planetary research including the standards available to the public (<http://webgis.wr.usgs.gov/index.html>).

The data on naming can be found on <http://planetarnames.wr.usgs.gov/>. It contains the listing of the names of planets and other celestial bodies Gazetteer of Planetary Nomenclature. This is the official database of Planetary System Nomenclature Working Group of the International Astronomical Union.

4. The methodology of mapping and the types of maps and celestial bodies globes

The basic problem of planetary cartography is making the decision how to present the information on the shape and the surface of a particular celestial body. The choice of the cartographic presentation form is depend on the mathematical reference surface, accuracy of source data, area and the subject of the cartographic study and the purpose and intended use of the final product. Considering these factors, we choose the type of the cartographic work (globe, map, atlas, etc.), the definition of

the plat coordinate system, scale and cartographic presentation methods.

Definition of longitude and latitude is determined by the position of the rotation axis of the celestial body and IAU guidelines. The accuracy of the source data determines the product scale. The choice of mapping and the division into sheets in case of maps is determined by the scale of the work, and in case of small celestial bodies also by irregularities of its surface. The mapping of the moons of the Solar System planets must also take into account the fact that the observations were made from different distances and different angles.

For larger moons and planets, such as the Earth a number of maps was divided into sheets. Opposite hemispheres would often be mapped separately using a modified conformal azimuthal or an orthogonal projection. Three mutually orthogonal pairs of views illustrate the complete morphology of the celestial body. In that case the main points in mapping are the poles and the points of intersection of the equator and the 0°, 90°, 180°, 270° meridians. These mappings show only one side of the object and such approach is insufficient to show the distribution of the surface structures in the global scale and to present their relation; on the other hand, the global mappings strongly distorts the circumpolar areas. These issues indicate the need for further development of map projections. M. Nyrtsov (2001) proposes the whole celestial body mapping and development of the separate maps of the polar regions (fig. 11).

One of the primary purposes of the celestial body mapping is the presentation of the characteristic relief forms. Every object has its specific relief, and that requires the individual cartographic approach. In contrast to earth mapping – planetary mapping commonly deals with presenting a large quantity of craters and a lack of vegetation or water reservoirs except for the ice caps.

The celestial bodies maps can be designed to be used by various specialist as the scientific aid in research or by the general public as the dissemination of knowledge. Maps designed for the scientists are mostly large-scale maps (e.g. geomorphologic, geologic) developed by the appropriate government agencies, with a high level of standardization and cartographic presentation methods. Maps designed for the dissemination of knowledge and education are

mostly developed in smaller scales and show less thematic layers. The international nomenclature (Latin, determined by the IAU) is usually adopted as the base, except that some or all names are also given in the language of the target user. Frequently informal or unofficial names are used, provided that they are present in subject literature. Maps for educational and informative purposes also contain additional written information on the backside of the map or in side notes. The significant educational features are visible on the globes (fig. 12), where the image of the celestial bodies surface is less distorted than on the maps developed on the plain surface. Nowadays their virtual equivalents available on the Internet are becoming more and more popular.

The recommendations for the classification of the topographic objects and their names for celestial bodies are developed by the Working Group for Planetary System Nomenclature of the IAU. The collaborative decision-making process regarding the naming within the IAU allows to avoid the situation where many researchers working simultaneously would name the same object differently. Moreover by following the guidelines of the International Astronomical Union we avoid the naming chaos by implementation of uniform naming rules. For example the craters on the surface of the Moon are named only with the surnames of researchers and scholars (without initials and names), the smaller craters inside of bigger ones and their satellites are designated with the name of the larger crater and an additional letter, while for the craters located closely to each other it is recommended to use one name in order to prevent ambiguity while naming smaller craters. All topographic object names indicated by the IAU are in Latin (e.g. Hevelius, Copernicus craters). The IAU does not provide the guidance how to translate the Latin names, except for English. In case of other languages it is allowed to translate on the base of a single words meaning, transcription, i.e. phonetic transformation of the name (in case of non-Roman alphabets) or transliteration, transformation letter by letter. Transliteration unlike transcription is a reversible process, while transcription prevents the restoration of the original name (J. Rutkowski, 1979, H. Hargitai 2006, H. Hargitai, M. Gede, 2009).

The celestial bodies maps consist of at least three thematic layers:

- 1) the base image, that can be a photo mosaic, shaded relief, topographic base, geologic primer etc.,

- 2) the cartographic grid,

- 3) the names of characteristic and important objects (H. Hargitai 2006).

The availability of new and more precise data sources causes an increase of multithematic studies (integrating more than the above mentioned three layers). The scientific community values the most the large scale thematic or topographic maps; the general public finds the small-scale maps covering the whole celestial body more attractive. Such maps should be consisted of a few thematic layers of the appropriate level of generalization as in case of geographical maps of the Earth's surface. The subject of the celestial body thematic map can be the geomorphic or geologic structure of the planet, the gravity field, the relief, planet's albedo (also historic, observed in the past), places of space mission landings. Such information may be accompanied by the general planetary content.

The relief of an extraterrestrial object is usually characterized by the global altitude diversification. To avoid mistakes such as presenting lowlands as cavities, the diversified vertical scale is used within the particular map. Another issue is the generalization of the relief (M. Nyrtsov 2001). The colours of the hypsometric maps is often related to the real colours of the celestial body. In case of shaded maps the base colour of the background can vary from the planet's natural colours, to reflect the geological data, emphasize the colour of the rocks or mark the differences in the geomorphological structure. The colour scale of the relief cannot cover the lands of ice and the Mars circumpolar areas; the usually used colours are white/ white and blue (fig. 13).

The signature method can be used to present objects that are too small to be shown in a chosen scale but still significant enough to be marked. The symbol of a crater designed based on the radar image, can be used as an example. Similarly for the bigger cluster of craters the pattern representing the characteristic feature of land cover type – a cluster of craters (H. Hargitai 2006).

As presented there are various specific factors influencing the choice of the type of a cartographic product and the way of presentation of particular thematic layers. According to M. Nyrtsov (2001) the following factors influencing the way of the cartographic presentation can be indicated:

- 1) factors determining the source material which is the base of the cartographic product (the type and the format of the available data);
- 2) requirements for the final product (indicating that the product should be e.g. a thematic map with an appropriate form of the thematic data presentation, thematic atlas or a cartographic model presenting the actual celestial body surface).

On the other hand according to E. Grishakin et al. (2013), the main factors influencing the irregular bodies cartographic modelling, such as Fobos and Deimos are:

- 1) a small size and irregular shape determining the reference system and the choice of the way of mapping,
- 2) the occurrence of the typical relief forms (such as craters),
- 3) difficulties in obtaining and processing the remote sensing data.

An important type of product for thematic cartography of the Solar System are hypsometric maps and 3D models obtained in processing of numerical terrain models. The hypsometric maps can be used not only for presentation and research of terrain, but also in planning the space missions, landing spots, studying the genesis of the space object and its geology. The most popular cartographic forms are globes (often virtual) and the hypsometric and shade maps. Among the thematic works are e.g. geological and geomorphologic maps. The advantage of the globes as a cartographic medium is that the presentation of the whole

surface of the planets has the smaller projection distortion than maps developed on the plain surface. Another advantage is a greater convenience of mapping areas situated on the opposite sides of the globe relative to each other, and also better presentation of the circumpolar areas. The craters that are the most characteristic surface objects undergo the small deformations on the globe. The globe gives the user the most realistic picture of the celestial body at the cost of some inconvenience regarding carrying and the use of space. The virtual globes are free from that disadvantage.

5. Conclusions

Over the last twenty years there has been a significant increase of interest in the space exploration, including the extraterrestrial objects such as planets and their moons, asteroids and comets. It is caused by the increasing quantity of information reaching the Earth and easy access to it. The development of the spatial data collection methods made the spacecrafts evolve into a technologically advanced research laboratories that obtain detailed information on celestial bodies. The image data from the telescopic, high resolution, multispectral cameras, allometric radar and laser measurements and many other devices, are processed. This data is a basis for various maps and other cartographic studies such as land modelling, globes, hypsometric, geologic, geomorphic maps etc. These studies present in a synthetic way the arrangement of objects and phenomena of a particular area, they simplify conducting research, discovering new objects and phenomena. Cartographic methods used so far in earth sciences will often require modification when applied to presenting specific celestial bodies.

References – see after the Polish text, pp. 269–270

Summary

From ancient times to the beginning of the seventeenth century it was accepted, according to the theoretical-philosophical Aristotle's assumption, that the surface of the planets, with the exception of the Earth and the Moon is perfectly smooth and homo-

geneous. In 1609, Galileo observed with a telescope mountains and craters on the lunar surface, and stains on the surface of the Sun. Before the beginning of space missions the main target of observation was the Moon. The first detailed map of the Moon was

elaborated by Michel Florent van Langren (1645) and Johannes Hevelius (1647). In 1877, Giovanni Virginio Schiaparelli published the first detailed map of Mars. Another important period in the development of planetary cartography occurred in the late nineteenth and early twentieth century, upon the application of photography to astronomical research.

In modern times (the sixties to the early nineties) there are three main directions in the mapping of the planets. The first direction is associated with maps being developed as the results of analysis and generalization of data obtained during observations from the Earth's surface. Particular attention should be paid to the cartographic works supporting the Apollo program. Another direction for planetary cartography was associated with research based on methods such as radar which were used to observe bodies like Mercury and Venus. In the late sixties of the twentieth century the third direction has emerged, being associated with the maps editing based on the measurement data collected by remotely controlled vehicles, including spacecraft and rovers, which successfully landed on the surface of planets.

In the period from the beginning of the 90s of the twentieth century to the present planetary cartography is growing thanks to more accurate source data acquired during new space missions, such as the European Mars Express mission and the use of GIS technology. An important event was the establishing of the International Cartographic Association Commission on Planetary Cartography in 1999. The purpose of the Commission is to harmonize international cartographic activity and the development of reference materials to assist the global dissemination of planetary cartography products.

Today, space probes are equipped with high-tech measuring instruments. They are autonomous, fully automated research laboratories. They allow the acquisition of a variety of data, including data on topography, geological and chemical structure of

planets, the gravimetric and the magnetic fields and many others. The increasing number of countries participating in the development of space research results in a significant increase in the amount of data reaching the Earth, which in turn results in an increase in knowledge of the celestial bodies according to the international law knowledge of extraterrestrial objects should be widely available. The data are available to a wide range of users by websites. The most popular is the Planetary Data System developed by NASA, which archives and provides access to data obtained from American space missions, astronomical observations and laboratory measurements. The data are available free of charge at <http://pds.jpl.nasa.gov/>.

Data from space missions are processed and on their basis maps and other cartographic works are created. In order to properly present information about the shape and surface of the celestial body, a cartographer must decide on the type of mapping product (globe, map, atlas, etc.), map projection, scale and methods of cartographic presentation. The accuracy of the source data and the purpose of the final product determine the choice of the scale of the map. Scale and the definition of the reference surface, particularly in the case of the body with irregular shape, determine the selection of a map projection and the way of division maps into sheets. Most of the celestial bodies are characterized by a strong diversity of relief and a significant influence of craters in the landscape, however, individual differences in morphology will cause a need for appropriate modifications of the cartographic visualisation methods for each object. Among cartographic works made in order to popularise knowledge – small-scale works, such as virtual globes dominate. Among cartographic works used by various specialists and scientists – the medium and large-scale thematic maps dominate.

Translated by I. Wojciechowska