

## Упрощенный метод определения координат деталей альbedo видимого диска сферической планеты при различных условиях ее освещенности

В. В. Михальчук

*Одесская национальная морская академия,  
ул. Дидрихсона, 8, Одесса, 65029, Украина  
E-mail: vmihalchuk@mail.ru*

Предложен упрощенный метод определения планетоцентрических координат деталей альbedo на видимом диске сферической планеты при различных условиях ее освещенности. Метод является точным и предназначен для обработки изображений планет, полученных по наземным и околоземным телескопическим наблюдениям. Положение детали на изображении планеты определяется при помощи прямоугольных координат в поперечной ортографической проекции независимо от планетоцентрического склонения Земли. Для определения положения точек на освещенной части видимого диска планеты применена вспомогательная система координат, связанная с экватором интенсивности, что позволяет исключить влияние фазы планеты и осуществить переход к планетоцентрической системе координат. Метод проверен на изображениях Меркурия и Марса.

### Введение

При физических наблюдениях планет Солнечной системы и их естественных спутников возникает задача определения планетографических координат деталей на изображениях их видимых дисков, полученных при наземных и околоземных наблюдениях. Для планет земной группы задача существенно упрощается вследствие их малого сжатия у полюсов, позволяющего считать форму планеты в первом приближении сферической, но усложняется значительным влиянием фазы, рассматриваемой в ортографическом приближении, когда геометрический диск планеты освещен Солнцем не полностью, т. е. фазовый угол  $\Phi$  отличен от нуля.

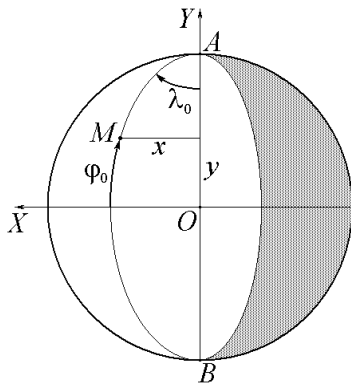
При наземных и околоземных наблюдениях вращающаяся планетоцентрическая система координат, определяющая положение каждой точки поверхности планеты с помощью планетоцентрической широты  $b$  и долготы  $l$ , наблюдается на ее видимом диске в ортографической проекции. Планетоцентрические координаты позволяют найти планетографические координаты [1] (планетографическую долготу  $\lambda$  и широту  $\varphi$ ) точки на поверхности планеты.

Поставленная задача в рамках указанных приближений решена в работе [2], где был предложен метод определения планетографических координат произвольной точки, наблюдаемой на освещенной части видимого диска сферической планеты, позволяющий исключить влияние фазы планеты при различных условиях ее освещенности. Для этого была введена невращающаяся вспомогательная сферическая система координат  $(\lambda_0, \varphi_0)$ , связанная с экватором интенсивности. Однако решение задачи в методе [2] и работах [3, 4] осуществлялось при помощи довольно сложного алгоритма, с привлечением промежуточной криволинейной системы относительных координат на картинной плоскости, что приводило к неудобствам на практике.

Таким образом, возникает необходимость прямого решения поставленной задачи по упрощенному алгоритму. Целью настоящей работы является разработка метода, более простого и удобного, чем метод [2], с привлечением меньшего числа промежуточных систем координат.

## 1. Вспомогательные координаты деталей альbedo и метод их определения

Нахождение планетоцентрических координат в методе [2] осуществляется с помощью вспомогательной системы координат  $(\lambda_0, \varphi_0)$ , которая всегда наблюдается в поперечной ортографической проекции (рис. 1). В этой системе координат за основную плоскость принята плоскость экватора интенсивности, а полюсами являются ортографические рога диска. Долгота  $\lambda_0$  отсчитывается от линии рогов  $AB$ , проходящей через субтерральную точку  $O$ , к западу планеты, а широта  $\varphi_0$  – от экватора интенсивности к северному ортографическому рогу  $A$  планеты.



**Рис. 1.** Вспомогательная и прямоугольная системы координат на изображении видимого диска планеты

Вспомогательные координаты  $\lambda_0$  и  $\varphi_0$  точки  $M$  позволяют осуществить переход к планетоцентрической системе координат  $(l, b)$ , в которой основной точкой отсчета является центр геометрического диска планеты (точка  $O$ ), имеющий планетоцентрические координаты  $l_p$  и  $b_p$ , причем  $b_p = D_{\oplus}$ , где  $D_{\oplus}$  – планетоцентрическое склонение Земли. Это возможно, если известны угол положения  $P$  оси вращения планеты и угол положения  $Q$  точки наименьшей освещенности диска на геоцентрической небесной сфере [5].

Введем систему прямоугольных координат  $(x, y)$ , лежащую в картинной плоскости (рис. 1). Начало координат этой системы лежит в центре геометрического диска планеты (в точке  $O$ ), ось  $Y$  направлена к северному ортографическому рогу планеты, ось  $X$  направлена вдоль диаметра интенсивности к западу планеты. Исходя из свойств поперечной ортографической проекции [6], можно записать формулы для прямоугольных координат точки  $M$ :

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \varphi_0 \sin \lambda_0, \\ y &= r \sin \varphi_0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $r$  – видимый радиус планеты. Из выражений (1) получим формулы для нахождения вспомогательных координат:

$$\left. \begin{aligned} \sin \lambda_0 &= \frac{x}{r \sqrt{1 - \frac{y^2}{r^2}}}, \\ \sin \varphi_0 &= \frac{y}{r}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Значения долготы  $\lambda_0$  для ортографического терминатора всегда находятся в интервале

$$\pm(\Phi - 90^\circ) \leq \lambda_0 \leq \pm 90^\circ. \quad (3)$$

Выбор знака в неравенстве (3) осуществляется по следующему правилу: верхний знак относится к случаю, когда  $\sin(P - Q) > 0$ , а нижний знак – когда  $\sin(P - Q) < 0$ .

## 2. Определение планетографических координат деталей альbedo

Пусть имеется изображение сферической планеты и из ее физических эфемерид известны величины  $D_{\oplus}$ ,  $P$ ,  $Q$  и  $l_p$ . Тогда планетоцентрические координаты  $l$  и  $b$  любой точки освещен-

ной части видимого диска планеты определяются по вспомогательным сферическим координатам  $\lambda_0$  и  $\varphi_0$  этой точки при помощи формул, полученных в работе [2]:

$$\sin b = \pm \sin \varphi_0 \cos D_{\oplus} \sin(P-Q) + \cos \varphi_0 [\cos \lambda_0 \sin D_{\oplus} \mp \sin \lambda_0 \cos D_{\oplus} \cos(P-Q)], \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}(l-l_p) = \frac{\pm [\cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \sin(P-Q) + \sin \varphi_0 \cos(P-Q)]}{\cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \cos D_{\oplus} \mp \sin D_{\oplus} [\sin \varphi_0 \sin(P-Q) - \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \cos(P-Q)]}, \quad (5)$$

где знаки числителя и знаменателя в формуле (5) совпадают со знаками  $\sin(l-l_p)$  и  $\cos(l-l_p)$  соответственно. Выбор знака в формулах (4) и (5) осуществляется по тому же правилу, что и в неравенстве (3).

Если планета не сферическая, а имеет форму эллипсоида вращения, истинное сжатие которого равно  $\alpha$ , то, согласно [1, 7], можно осуществить переход от планетоцентрических координат  $l$  и  $b$  любой точки на поверхности планеты к ее планетографическим координатам  $\lambda$  и  $\varphi$  по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= l, \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{\operatorname{tg} b}{(1-\alpha)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

### 3. Применение метода определения координат к изображениям планет

Для проверки метода определялись планетографические координаты некоторых деталей альbedo на поверхности Меркурия и Марса по их изображениям, полученным при наземных телескопических наблюдениях [8, 9]. Отбирались только те изображения планет, которые были получены при значительных фазовых углах, согласно критерию [2].

Одно из исследуемых изображений видимого диска Меркурия (рис. 2, а) представляет собой рисунок, полученный при визуальных наблюдениях (наблюдатель М. Фрассати, телескоп диаметром 203 мм, разрешающая способность  $s = 0.6''$ ). На рис. 2, б показано одно из исследуемых изображений видимого диска Марса, полученное с помощью ПЗС-камеры (наблюдатель Ж. Аделаар, телескоп диаметром 180 мм,  $s = 0.7''$ ).

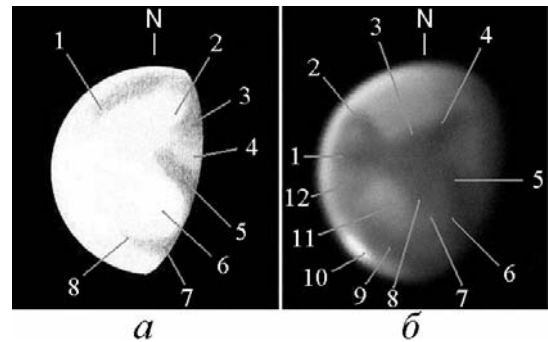


Рис. 2. Изображения видимых дисков планет: а – Меркурия; б – Марса

Для вычисления физических эфемерид Меркурия и Марса использовались элементы их вращения из работы [10]. Физические эфемериды планет на моменты времени наблюдений, вычисленные по программам пакета [11], приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Физические эфемериды планет

Планета	УТ	$r$	$\Phi$	$D_{\oplus}$	$P$	$Q$	$l_p$
Меркурий	8/02/2003, 6 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	3.16"	62.92°	-6.50°	352.88°	260.22°	345.25°
Марс	13/08/2005, 4 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	6.14	45.68	-15.63	321.98	252.11	284.11

Вычислялись вспомогательные сферические координаты  $\lambda_0$  и  $\varphi_0$  точек поверхности планеты с помощью формул (2), позволяющие найти их планетоцентрические координаты  $b$  и  $l$  по формулам (4) и (5) соответственно. Затем определялись планетографические координаты  $\lambda$  и  $\varphi$  точек по формулам (6) при истинных сжатиях  $\alpha$  планет [7]: Меркурия,  $\alpha = 0$ , и Марса,  $\alpha = 0.0051865$ . Координаты деталей альbedo, найденные по этим формулам, представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Координаты деталей альbedo на поверхности планет

Планета	Деталь	$x$	$y$	$\lambda_0$	$\varphi_0$	$\lambda$	$\varphi$	Название региона по карте
Меркурий	1	+1.84"	+1.63"	+42.7°	+31.0°	24.3°	+27.8°	Tricrena
	2	-0.24	+1.73	-5.2	+33.1	338.8	+26.4	Solitudio Argiphontae
	3	-0.95	+1.57	-20.2	+29.7	324.8	+22.7	Solitudio Aphrodites
	4	-1.04	+0.58	-19.5	+10.6	325.5	+3.5	Pentas
	5	-1.12	-0.25	-20.8	-4.5	324.3	-11.5	Sinus Argiphontae
	6	-0.32	-1.32	-6.4	-24.6	339.8	-31.4	Pieria
	7	-0.72	-2.17	-18.2	-43.3	327.4	-50.3	Cyllene
	8	+0.37	-2.19	+9.3	-43.8	358.5	-49.6	Hesperis
Марс	1	+4.85	-0.66	+52.6	-6.2	339.8	-31.7	Noachis
	2	+4.21	+1.75	+45.7	+16.6	332.7	-8.7	Sinus Sabaeus
	3	+1.78	+1.97	+17.8	+18.7	306.6	-2.8	Deltoton Sinus
	4	0.00	+3.07	0.0	+30.0	294.3	+12.8	Syrtis Major
	5	-2.41	0.00	-23.1	0.0	262.3	-6.8	Syrtis Minor
	6	-2.87	-2.37	-30.4	-22.7	245.3	-24.3	Mare Tyrrhenium
	7	-1.40	-2.89	-15.0	-28.1	256.6	-35.7	Ausonia
	8	0.00	-1.54	0.0	-14.5	278.4	-29.4	Mare Hadriacum
	9	+1.05	-4.61	+15.0	-48.7	270.6	-65.4	Mare Australe
	10	+2.52	-5.37	+57.8	-61.0	21.3	-85.2	The South polar cap
	11	+1.60	-2.41	+16.5	-23.1	292.7	-43.1	Hellas
	12	+4.17	-2.19	+46.6	-20.9	332.1	-46.4	Hellespontus

Полученные планетографические координаты деталей альbedo совпадают с их координатами, снятыми с карт альbedo планет, с точностью до погрешностей исходных изображений и карт.

### Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе:

1. Предложен упрощенный метод определения планетографических координат деталей на видимом диске сферической планеты, позволяющий исключить влияние ее фазы.
2. Получены точные формулы, связывающие прямоугольные координаты точки на поверхности планеты с ее вспомогательными координатами для ортографического терминатора при любых значениях фазового угла.

3. Предложенный метод является точным, основан на свойствах ортографической проекции вспомогательной системы координат на картинную плоскость и позволяет осуществить с помощью этой системы координат переход от прямоугольных координат точки видимого диска планеты к ее планетографическим координатам при различных условиях освещенности.

Автор благодарит В. А. Псарева за участие в обсуждении материалов и полезные замечания.

### Литература

1. Свешников М. Л. Эфемериды для физических наблюдений Солнца и планет. Труды ИПА РАН, Вып.10. Эфемеридная астрономия. Под ред. А. М. Финкельштейна. СПб.: ИПА РАН. 2004, с. 349-375.
2. Михальчук В. В. Метод определения координат деталей альbedo на поверхности сферических планет при различных условиях освещенности их видимых дисков. Кинематика и физика небесных тел. 2004, Т. 20, №1, с. 76-92.
3. Mikhhalchuk V. V. Determination of planetocentric coordinates of albedo details on surface of the spherical planet and some points of the illuminated part of planet's visible disk under various phase angles from ground telescopic observations. Odessa Astron. Publ. 2004, Vol. 17, pp. 54-57.
4. Mikhhalchuk V. V. Influence of the Phase of a Spherical Planet on Determination of Coordinates of Albedo Features on the Planet's Surface from Ground-based Observations. Kinematics and Phys. of Celest. Bodies, Suppl. Ser. 2005, No. 5, pp. 557-560.
5. Абалакин В. К. Основы эфемеридной астрономии. М.: Наука, 1979, 448 с.
6. Вахрамеева Л. А., Бугаевский Л. М., Казакова З. Л. Математическая картография. М.: Недра, 1986, 286 с.
7. Монтенбрук О., Пфлегер Т. Физические эфемериды планет. Астрономия на персональном компьютере. СПб.: Питер, 2002, с. 141-159.
8. Melillo F. J.: 2006, ALPO Mercury Section. Mercury Recent Observations and Alerts, <http://www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo/mercstuff/recobs.html>
9. Troiani D. M.: 2006, ALPO Mars Section. Mars Observing Alerts and Recent Observations, <http://www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo/marstuff/recobs.html>
10. Seidelmann P. K., Abalakin V. K., Bursa M., Davies M. E., Bergh C., Lieske J. H., Oberst J., Simon J. L., Standish E. M., Stooke P., Thomas P. C. Report of the IAU/IAG Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites: 2000. Celest. Mech. Dynam. Astron. 2002, Vol. 82, No. 1, pp. 83-110.
11. Mikhhalchuk V. V. Elaboration of the batch of the programs for celestial mechanics for the computation of the astronomical ephemeris. Odessa Astron. Publ. 2001, Vol. 14, pp. 261-264.

### Спрощений метод визначення координат деталей альbedo видимого диска сферичної планети за різних умов її освітленості

**В. В. Михальчук**

Пропонується спрощений метод визначення планетоцентричних координат деталей альbedo на видимому диску сферичної планети за різних умов її освітленості. Метод є точним і призначений для обробки зображень планет, отриманих за наземними і навколотеземними телескопічними спостереженнями. Положення деталі на зображенні планети визначається за допомогою прямокутних координат у поперечній ортографічній проекції незалежно від планетоцентричного схилення Землі. Для визначення положення точок на освітленій частині видимого диска планети застосована допоміжна система координат, пов'язана з екватором інтенсивності, що дозволяє виключити вплив фази планети і здійснити перехід до планетоцентричної системи координат. Метод перевірено на зображеннях Меркурія і Марса.

## **A Simplified Method to Determine the Coordinates of Albedo Features on Visible Disk of a Spherical Planet under Different Illumination Conditions**

**V. V. Mikhailchuk**

A simplified method for the determination of planetocentric coordinates of albedo features on visible disk of a spherical planet under different illumination conditions is offered. The method is precise and is intended for handling images of the planets obtained on ground-based and near-earth telescopic observations. The position of a feature on the image of a planet is determined by means of rectangular coordinates in the transverse orthographic projection, independently of planetocentric declination of the Earth. To determine point positions on the illuminated part of the visible disk of a planet, we applied an auxiliary coordinate system connected with equator of intensity that allowed to exclude the influence of the planet's phase and to make transition to the planetocentric coordinate system. The method is tested on images of Mercury and Mars.