



Russian Journal Astrophysical Research. Series A

Has been issued since 2015.
E-ISSN: 2413-7499
2020. 6(1). Issued once a year

EDITORIAL BOARD

Dr. Prokopiev Evgeny – Kurchatov Institute, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Russian Federation (Editor in Chief)

Dr. Bisnovaty-Kogan Gennady – Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Dr. Blinnikov Sergei – Kurchatov Institute, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russian Federation

Dr. Md Azree Othuman Mydin – University Sains Malaysia, Penang, Malaysia

Dr. Moskalenko Igor – Stanford University, Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford, USA

Dr. Nakariakov Valery – University of Warwick, Coventry, United Kingdom

Dr. Sokoloff Dmitry – Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Dr. Suntola Tuomo – Physics Foundations Society, Espoo, Finland

Dr. Tsvetkov Viktor – Institute for Scientific Research of Aerospace Monitoring AEROCOSMOS, Moscow, Russian Federation

Dr. Utkin Lev – Saint-Petersburg Forestry University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Journal is indexed by: **CrossRef, MIAR, OAJI, Russian Science Citation Index**

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1367/4, Stara Vajnorska str., Bratislava – Nove Mesto, Slovakia, 831 04

Release date 22.06.2020.

Format 21 × 29,7/4.

Website: <http://ejournal28.com/>
E-mail: aphr.sro@gmail.com

Headset Georgia.

Founder and Editor: Academic Publishing House Researcher s.r.o.

Order № RJAP-6.

Russian Journal of Astrophysical Research. Series A

2020

Is. 1

CONTENTS

Articles

Black Hole and Large Number Hypothesis T. Musha	3
Negative Gravity Force Created by Gravitational Collapse of the Star T. Musha	7
Geodesic Support of Space Research V.V. Oznamets	15
Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft V.P. Savinych	23
Determining the Coordinates of Points on the Surface of a Space Body S.V. Shaytura	35
Planetary Altimetry V.Ya. Tsvetkov	46

Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2020, 6(1): 3-6

DOI: 10.13187/rjar.2020.1.3
www.ejournal28.com



Articles

Black Hole and Large Number Hypothesis

Takaaki Musha ^{a, *}

^aAdvanced Science-Technology Research Organization, Yokohama, Japan

Abstract

Large Number Hypothesis (LNH) was proposed by Paul Dirac. This coincidence of number was also recognized by Arthur Eddington who related the above ratios to N , which the estimated number of charged particles in the universe. This hypothesis shows some physical parameters depends on the age of the universe. For example, it shows the strength of gravity as represented by the gravitational constant is inversely proportional to the age of the universe. By applying this hypothesis to a black hole, it can be shown that the entropy of the black hole depends on the age of the universe and the thermal radiation from the black hole increases with time.

Keywords: black hole, large number hypothesis, entropy, thermal radiation.

1. Introduction

The Dirac large numbers hypothesis (LNH) is an observation made by Paul Dirac in 1937 relating ratios of size scales in the Universe to that of force scales. The ratios constitute very large, dimensionless numbers: some 40 orders of magnitude in the present cosmological epoch. According to Dirac's hypothesis, the apparent similarity of these ratios might not be a mere coincidence but instead could imply a cosmology with these unusual features:

From this hypotheses, the following features were obtained.

The strength of gravity as represented by the gravitational constant is inversely proportional to the age of the universe. The mass of the universe is proportional to the square of the universe's age, and physical constants are actually not constant. Their value depends on the age of the universe.

This coincidence was primary found by Arthur Eddington who related the above ratios to N , which the estimated number of charged particles in the universe ([Eddington, 1931](#)):

This can be shown as $t/(r_e/c) \approx 10^{40}$, where t is the age of the universe, c is the light speed and r_e is the classical electron radius.

By applying LNH to the entropy of the black hole, some features of the black hole can be obtained.

We abbreviate the Large Number Hypothesis as LNH hereafter;

* Corresponding author
 E-mail addresses: takaaki.mushya@gmail.com (T. Musha)

2 LNH and the black hole

The ratio of the Coulomb force and the gravity, we have

$$f_c / f_g \approx 10^{40}, \quad (1)$$

where f_c is a Coulomb force and f_g is a gravity given by

$$f_c = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \text{ and } f_g = \frac{Gm_p m_e}{r^2}, \quad (2)$$

In these equations, e is a charge of an electron, G is a gravitational constant, m_p is a mass of a proton and m_e is a mass of an electron.

If we let $t/(r_e/c) = \tau$, which is a time scale of the universe, we have a following equation from LNH as

$$\tau \approx \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_p m_e}, \quad (3)$$

Then we can write

$$G \approx \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_p m_e \tau}. \quad (4)$$

From which, it is seen that G varies with time.

A black hole is a region of spacetime exhibiting gravitational acceleration so strong that nothing—no particles or even electromagnetic radiation such as light—can escape from it. The theory of general relativity predicts that a sufficiently compact mass can deform spacetime to form a black hole.

The area of its event horizon, A , can be described as (Imaeda, Imaeda, 1982)

$$A = \frac{8\pi G^2 M^2}{c^4} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{cJ}{GM^2}} \right], \quad (5)$$

where M is a mass of the black hole and J is its angular momentum.

From Eq.(3), we have the following equation for non-rotating black hole;

$$A = \frac{M^2 e^4}{2\pi c^4 m_p^2 m_e^2 \tau^2}, \quad (6)$$

Starting from theorems proved by Stephen Hawking, Bekenstein conjectured that the black hole entropy was proportional to the area of its event horizon divided by the Planck constant (Majumdar, 1999). Then the formula for the Bekenstein entropy of the black hole can be shown as

$$S_{bh} = \frac{k_B}{4\hbar} \left(\frac{Ac^3}{G} \right) \approx \frac{k_B M^2 e^2}{2\hbar c \epsilon_0 m_p m_e} \frac{1}{\tau}. \quad (7)$$

The radiation temperature from the black hole can be also obtained as (Imaeda, Imaeda, 1982)

$$T = \frac{h}{16\pi^2 k_B} \left(\frac{c}{GM} \right) \approx \frac{hc}{4\pi k_B M} \frac{\epsilon_0 m_p m_e}{e^2} \tau, \quad (8)$$

Some features derived from LNH for a black hole

From equations described above, we obtain the following results.

- (1) The area of the event horizon of the black hole decreases with time, contrary to the black hole area theorem states that surface area of a black hole does not decrease with time.
- (2) The entropy of the black hole decreases with time.
- (3) The temperature of the black hole increases with time given by

$$T \approx 6.024 \times 10^{-34} \times \tau / M$$

Quantum field theory in curved spacetime predicts that event horizons emit Hawking radiation, with the same spectrum as a different from the Hawking radiation black body of a temperature inversely proportional to its mass (Hawking, 1988). Then black holes are expected to shrink and evaporate over time as they lose mass by the emission of photons and other particles. LNH also predicts that the black hole radiates energy and shrinks with time, which is the same as the Hawking radiation, but the amount of radiation increases with time.

This means that the black hole radiates energy from the vacuum because the mass of the black hole maintains constant, which contradicts the second law of thermodynamics.

On 10 April 2019 an image was released of a black hole, which is seen in magnified fashion because the light paths near the event horizon are highly bent. The dark shadow in the middle results from light paths absorbed by the black hole (Lutz, 2019). The image is in false color, as the detected light halo in this image is not in the visible spectrum, but radio waves as shown in Figure 1. The black hole is 500 million trillion km away and was photographed by a network of eight telescopes across the world.



Fig. 1. The photo of a black hole

There is an idea of elementary particles being tiny black holes, yet even within the canonical model of particle physics elementary particles like electrons and quarks are taken to have mass yet occupy zero-dimension. In fact, because of the self-energy of a point-particle, leptons have infinite bare mass and infinite bare charge – vacuum fluctuations are needed to shield these infinite values. Such a point-particle is a singularity, or in more common parlance a black hole (Holzhey, 1991). However, if elementary particles are black holes, they evaporate and the universe is filled with thermal radiation at the present time according to the equation $T \approx 6.024 \times 10^6 / M$ obtained from the LNH.

If a black hole does exist in the universe as observed, LNH, which was suggested by Paul Dirac in 1937, is considered to be false.

3. Conclusion

LNH predicts that black hole radiates energy by shrinking its area of the event horizon.

The black hole does not lose its mass, but it emits thermal radiation with time. However, this result contradicts to the second law of thermo dynamics. If LNH is true, we can create a thermal engine with perpetual motion by using the micro black hole. But this result leads to the conclusion that there is no black holes in the universe.

References

- Eddington, 1931 – Eddington, A. (1931). Preliminary Note on the Masses of the Electron, the Proton, and the Universe. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 27(1): 15-19.
 Hawking, 1988 – Hawking, S. (1988). *A Brief History of Time*. Bantam Books.

[Holzhey, 1991](#) – *Holzhey, C.F.E.* (1991). Black holes as elementary particles. [Electronic resource]. URL: <https://arXiv:hep-th/9202014>

[Imaeda, Imaeda, 1982](#) – *Imaeda, K., Imaeda, M.* (1982). Physics of black hole, Kodansha. Ltd. Tokyo (Japanese edition).

[Lutz, 2019](#) – *Lutz, O.* (2019). How Scientists Captured the First Image of a Black Hole. [Electronic resource]. URL: <https://www.jpl.nasa.gov/edu/news/2019/4/19/how-scientists-captured-the-first-image-of-a-black-hole/>

[Majumdar, 1999](#) – *Majumdar, P.* (1999). Black Hole Entropy and Quantum Gravity. *Indian J. Phys.* 73.21 (2): 147.

Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2020, 6(1): 7-14

DOI: 10.13187/rjar.2020.1.7
www.ejournal28.com



Negative Gravity Force Created by Gravitational Collapse of the Star

Takaaki Musha ^{a, b, *}^a Advanced Science-Technology Research Organization, Yokohama, Japan^b Foundation of Physics Research Center (FoPRC), Cosenza, Italy

Abstract

General relativity theory predicts that the star of greater than 2.5 solar masses collapses into a black hole when it burns up all its nuclear fuel. But some scientists are skeptical about the existence of a black hole. The author studied the possible existence of faster-than-light phenomena for highly accelerated elementary particles. By applying his theorem to the collapsing star, it can be shown that negative gravity due to tachyons created inside the star prevents all the star's matter to be completely crushed into a singularity and it is considered that the collapsing stars become unstable by their negative gravity forces generated by created tachyons and they may be finally exploded.

Keywords: tachyon, gravitational collapse, negative gravity, black hole, superluminal speed, collapsing star.

1. Introduction

General relativity theory predicts that the star of greater than 2.5 solar masses collapses into a black hole when it burns up all its nuclear fuel. However some scientists are skeptical about the existence of a black hole and Prof. Jefimenko proposed the theory which denies gravitational collapse of the star by introducing a new gravitational field (Jefimenko, 1992).

Some researchers have proposed the theory that quantum effects prevent true black holes from forming dense entities called black stars (Barcelo et al., 2008; Visser et al., 2008; Skenderis et al., 2008).

Instead of their theory, the author also studied this problem from the standpoint of negative gravity due to the faster-than-light (FTL) particles, called tachyons by Feinberg, and he found that they prevent all the star's matter to be completely crushed into a singularity by its strong negative gravitational field.

2. Results

Probability of Elementary Particles Which Exceed Light Speed

According to the author's theorem (Musha, 1998), highly accelerated elementary particles have the possibility to be transformed into a tachyon by quantum tunneling effect (Musha, 2000), which is described by the Klein-Gordon wave equation shown as

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi, \quad (1)$$

* Corresponding author

E-mail addresses: takaaki.mushya@gmail.com (T. Musha)

where ψ is a wave function for the particle and $H = \sqrt{p^2 c^2 + M^2 c^4}$.
From the definition of proper acceleration given by $p = M\alpha t$, we have

$$\frac{\partial \psi}{\partial p} = -i \frac{c}{M\alpha \hbar} \sqrt{p^2 + M^2 c^2} \psi, \quad (2)$$

From which, we have

($v < c$)

$$\psi = C \cdot \exp \left[-i \frac{m_0 c^3}{2\alpha \hbar} \left(\frac{cv}{c^2 - v^2} + \log(m_0 c) + \frac{1}{2} \log \left(\frac{c+v}{c-v} \right) \right) \right], \quad (3)$$

and

($v > c$)

$$\psi^* = C \cdot \exp \left[-\frac{m_* c^3}{2\alpha \hbar} \left(\frac{cv}{v^2 - c^2} - \log(m_* c) - \frac{1}{2} \log \left(\frac{v+c}{v-c} \right) \right) \right], \quad (4)$$

where m_0 is the mass of the elementary particle, m_* is an absolute value of the tachyon's rest mass, ψ_* is the wave function for the tachyon, v is the velocity of the particle, c is the light speed. From this equation, the probability of the elementary particle transformed into a tachyon can be shown as

$$T \approx \frac{|\psi_*|^2}{|\psi|^2} = \exp \left[-\frac{m_* c^3}{\alpha \hbar} \left(\frac{cv}{v^2 - c^2} - \log(m_* c) - \frac{1}{2} \log \left(\frac{v+c}{v-c} \right) \right) \right]. \quad (5)$$

From which the probability of tachyons created inside the collapsing star can be estimated.

Probability of Tachyons Created Inside the Star

Applying the uncertainty principle of momentum for the particle moving inside the quantum domain, we have

$$p_0 = \frac{m_0 v_0}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}} \approx \frac{\hbar}{d}, \quad (6)$$

where v_0 is the velocity of the particle and d is the size of the quantum domain in which the particle is moving.

From Eq.(6), the velocity of the moving particle is roughly estimated as

$$v_0 = c \left(1 + \frac{m_0^2 c^2 d^2}{\hbar^2} \right)^{-1/2} \approx c - \frac{c}{2} \left(\frac{m_0 c d}{\hbar} \right)^2, \quad (7)$$

if m_0 satisfies $m_0^2 c^2 d^2 \ll 1$. Then energy of the particle can be given by

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}} \approx \frac{c \hbar}{d}. \quad (8)$$

By the uncertainty principle, virtual particles, most of which are photons, can be emitted temporarily from particles moving inside the quantum domain.

According to Eq.(5), some of them have the possibility to be created as a tachyon.

Supposing that the virtual particle created as a tachyon satisfies the energy conservation shown as

$$E_* = \frac{m_*c^2}{\sqrt{v_*^2/c^2 - 1}} \approx \frac{c\hbar}{d}, \quad (9)$$

an absolute rest mass of the tachyon created becomes

$$m_* \approx \frac{\hbar}{cd} \sqrt{v_*^2/c^2 - 1}. \quad (10)$$

By the difference of the momentum, $\Delta p = p_* - p_0$ given by

$$\Delta p = \frac{m_*v_*}{\sqrt{v_*^2/c^2 - 1}} - \frac{\hbar}{d}, \quad (11)$$

where p_* is the momentum of the particle in a FTL state and p_0 is its original momentum.

From the uncertainty relation shown as $\Delta p \cdot d \approx \hbar$, FTL particles move at the velocity of almost twice the light speed. From which, the rest mass of the tachyon can be determined as

$$m_* \approx \frac{\sqrt{3}}{cd} \hbar. \quad (12)$$

By the definition of the proper acceleration of the particle as $\alpha = m_0^{-1} \Delta p / \Delta t$ (Jukov, 1961), the acceleration of the particle moving inside the quantum domain can be given by using the uncertainty principle as

$$\alpha = \frac{\hbar}{m_0 d \Delta t} \approx \frac{c\hbar}{m_0 d^2}. \quad (13)$$

Then the probability of tachyons created inside the star becomes

$$T(d) \approx \exp\left(-\frac{\sqrt{3}m_0cd}{\hbar} \{\log(d/\hbar) + \gamma\}\right), \quad (14)$$

where $\gamma = \frac{2}{3} - \log 3$.

Negative Gravity Force Generated by FTL Particles

From the Klein-Gordon equation, tachyon radiation can be described by

$$\left(\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 - \left(\frac{m_*c}{\hbar}\right)^2\right) \psi = 0, \quad (15)$$

Supposing that the Newtonian law of gravitation can be applied to tachyons which have an imaginary mass im_* , at a distance d apart, it is seen that the repulsive force is generated between them:

$$f = G \frac{(im_*)^2}{r^2} = -G \frac{m_*^2}{r^2}, \quad (16)$$

where G is a gravitational constant.

From Eq.(15), it has a static solution for the spherical coordinates system which we have

$$f = -G \frac{m_*^2}{r^2} \exp(-ir / r_0), \quad (17)$$

The differential equation of kinetic equilibrium between the inner pressure and gravitation for the condensed star was given by V.R. Emden (Sato, Ruffin, 1976) as

$$\frac{dP(r)}{dr} = -\frac{GM(r)}{r^2} \rho(r), \quad (18)$$

where $P(r)$ is a pressure at the distance r from the center of the star and $M(r)$ is a total mass inside the radius r given by

$$M(r) = 4\pi \int_0^r \rho(r) r^2 dr. \quad (19)$$

By this equation, the pressure at the center of the star is roughly estimated as

$$P_c \approx \frac{GM\rho_c}{R} = \frac{4\pi G}{3} \rho_c^2 R^2, \quad (20)$$

where R is a radius of the star and ρ_c is its mass density.

Negative Pressure Generated by FTL Particles Which Prevents Forming Black Holes

The event horizon of the black holes is given by (Kaufmann, 1980)

$$r_g = \frac{2GM_0}{c^2}. \quad (21)$$

where M_0 is a mass of the star.

When elementary particles of the star are packed so tightly by its strong gravitational field, virtual particles created inside the star are highly accelerated as their moving ranges are decreased. Hence it is considered from Eq.(14) that virtual particles created inside the collapsing star have a possibility to appear as tachyons. If we let d is the mean separation distance of elementary particles inside the star, the density of particles is roughly estimated as $N = 1/d^3$. Then the mean mass density of tachyons becomes

$$\bar{\rho} = Nm_* T(d) = \frac{\sqrt{3}\hbar}{cd^4} T(d). \quad (22)$$

As the mass density of the star with the mass M_0 can be given by

$$\rho \approx M_0 / \left(\frac{4\pi}{3} R^3 \right), \quad (23)$$

the condensed star which is composed of real and imaginary particles, the mean mass density ρ_c of the star can be given by $\rho_c = \rho + i\bar{\rho}$.

By substituting this formula and Eq.(22) into Eq.(20), the inner pressure P_c becomes

$$P_c \approx \frac{4\pi GR^2}{3} \left[\rho^2 - \frac{3\hbar^2}{c^2 d^8} T(d)^2 \right]. \quad (24)$$

If we let m_0 be a mass of the nucleon inside the star, we obtain

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\pi m_0}{3M_0}} R, \quad (25)$$

by using the relation $\rho \approx Nm_0$.

From which, the inner pressure which can support the star against its strong gravitational field becomes

$$P_c \approx \frac{3G}{4\pi} \frac{M_o^2}{R^4} - \frac{G\hbar^2}{(4\pi)^{5/3}} \left(\frac{3M_0}{m_0} \right)^{8/3} \frac{T^2}{c^2 R^6}, \quad (26)$$

where T is given by

$$T \approx \exp \left[-\frac{\sqrt{3}cR}{\hbar} \left(\frac{4\pi m_0^4}{3M_o} \right)^{1/3} \left\{ \frac{1}{3} \log \left(\frac{4\pi m_0 R^3}{3M_0 \hbar^3} \right) + \gamma \right\} \right]. \quad (27)$$

From these equations, the probability of tachyons created inside the collapsing star can be calculated as shown in [Figure 1](#) for the neutron star which mass is 2.5 times solar masses.

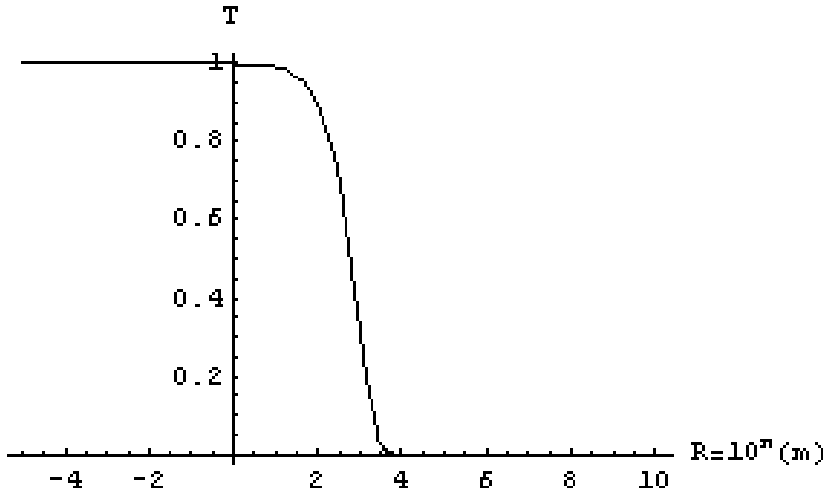


Fig. 1. Probability of a tachyon created inside the collapsing star which radius is R

Then the inner pressure at its center divided by mass energy density, $P_c / \rho c^2$, can be estimated from Eq.(26) as shown in [Figure 2](#).

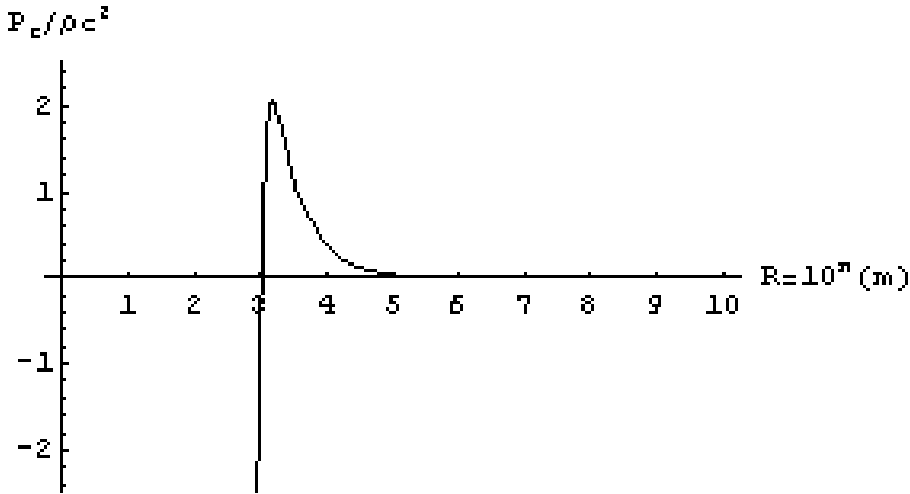


Fig. 2. Inner pressure divided by energy density for the collapsing star

From this calculation result, it is seen that there is a point at which the negative gravity force by tachyons cancels the gravitational field of the collapsing star. Thus the gravitational collapse is stopped when the radius of the star reaches

$$R_0 \approx \frac{3^{5/6} \hbar T_0}{c} \sqrt[3]{\frac{M_0}{4\pi m_0^4}}, \quad (28)$$

where T_0 is the probability given by Eq.(27) when $P_c = 0$.

As the probability of the virtual particle created inside the star is less than unity, the radius of the star does not get smaller than

$$R_0 / r_g \approx \frac{3^{5/6} \hbar c}{2G \sqrt[3]{4\pi m_0^4 M_0^2}}, \quad (29)$$

The calculation of r_g / R vs. M_0 for the star, which is composed of neutrons, is shown in [Figure 3](#).

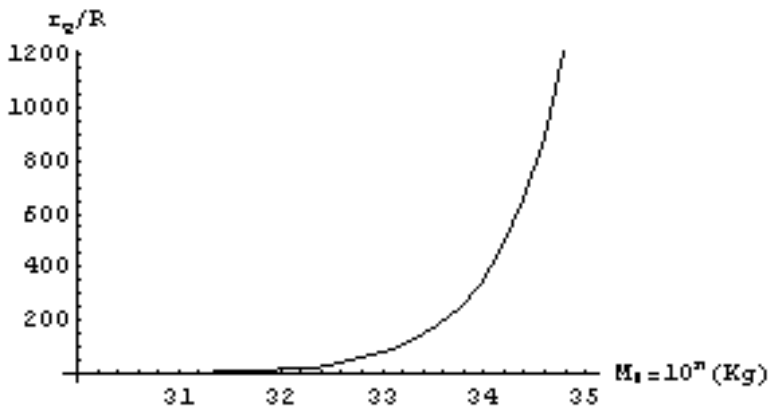


Fig. 3. r_g / R for the neutron star which mass is M_0

If strong gravitational field crushes nucleons down to more elementary particles like quarks, negative gravity by tachyons increases rapidly as shown in [Figure 4](#) by the formula:

$$R_0 / r_g \approx \left(\frac{\sqrt{3}cM_0}{4\pi \hbar} d^4 \right)^{1/2}, \quad (30)$$

which is calculated for the star which has 2.5 solar masses.

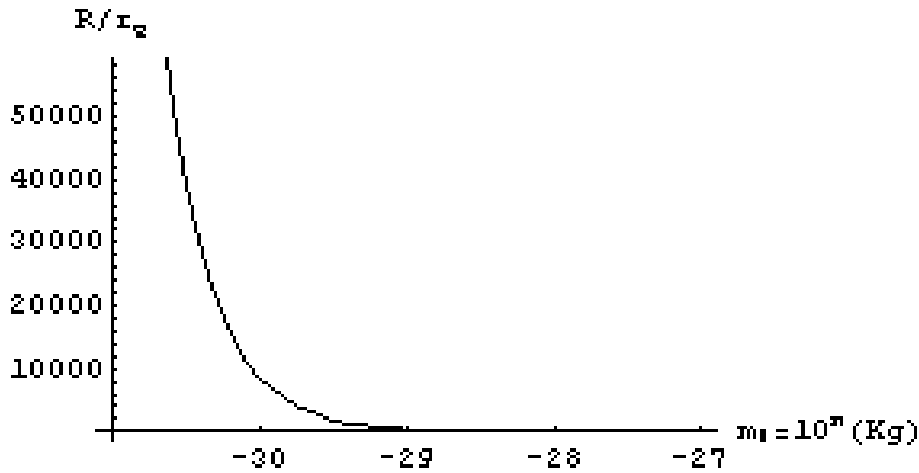


Fig. 4. R/r_g vs. the mass for the particle inside the star

From this calculation result, it is considered that the collapsing stars become unstable by their negative gravity forces generated by tachyons and they may be finally exploded.

In astronomical observation, apparently superluminal motion was seen in ejected flow of matter by the explosion of the stars, which can be observed as a jet moving at a some radio galaxies, quasars, and recently also in some galactic sources called microquasars. Bursts of energy moving out along the relativistic jets emitted from these objects can have a proper motion that appears greater than the speed of light as shown in [Figure 5](#). All of these sources are thought to contain a black hole, responsible for the ejection of mass at high velocity, which can produce apparent superluminal motion ([Bond, 2003](#)).

This may be due to the tachyons created inside the collapsing stars where the jet emitted from them are composed of superluminal particles.

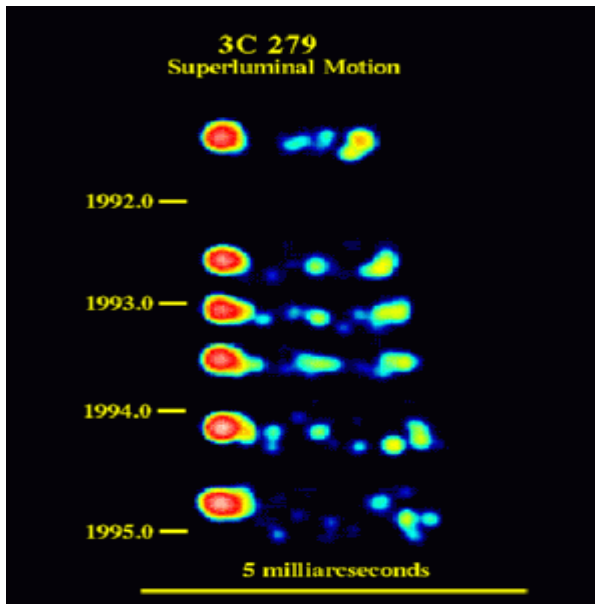


Fig. 5. Superluminal motion of the Quasar 3C 279

3. Conclusion

By the theoretical analysis, it is shown that the negative gravity force by tachyons created inside the star prevents all the star's matter to be completely crushed into a singularity. It is also shown that the black holes may be finally exploded when strong gravitational field crushes nucleons down to more elementary particles.

References

- [Barcelo et al., 2008](#) – *Barcelo, C., Liberati, S., Sonego S., Visser, M.* (2008). Fate of Gravitational Collapse in Semiclassical Gravity. *Physical Review. D.* 77(4).
- [Bond, 2003](#) – *Bond, H.E. et al.* (2003). An energetic stellar outburst accompanied by circumstellar light echoes. *Nature.* 422 (6930): 405-408.
- [Jefimenko, 1992](#) – *Jefimenko, O.D.* (1992) Causality Electromagnetic Induction and Gravitation, Electret Scientific Company, Star City, USA.
- [Jukov, 1961](#) – *Jukov, A.I.* (1961). Introduction to the theory of relativity. National Culture Physics-Mathematics Library, Moscow. (Published in Russian).
- [Kaufmann, 1980](#) – *Kaufmann, W.J.* (1980). Black Holes and Warped Spacetime, Bantam Books, New York.
- [Musha, 1998](#) – *Musha, T.* (1998) Possible existence of faster-than-light phenomena for highly accelerated elementary particles. *Speculations in Science and Technology.* 21: 29-36.
- [Musha, 2000](#) – *Musha, T.* (2000). Possible existence of Tachyon Field Cancellation of ZPF Induced Gravitational Field in Empty Space. *Journal of Theoretics.* 2(4).
- [Sato, Ruffin, 1976](#) – *Sato, H., Ruffin, R.* (1976). Black Hole, Chuo Kohron Co. Ltd. (Published in Japanese).
- [Skenderis et al., 2008](#) – *Skenderis, K., Taylor, M.* (2008). The Fuzzball Proposal for Black Holes. *Physics Reports.* 467(4-5): 117-171.
- [Visser et al., 2008](#) – *Visser, M., Barcelo, C., Liberati S., Sonego, S.* (2008). Small, Dark, and Heavy: But Is It a Black Hole? *Proceedings of Black Holes in General Relativity and String Theory.*

Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2020, 6(1): 15-22

DOI: 10.13187/rjar.2020.1.15
www.ejournal28.com



Geodesic Support of Space Research

Vladimir V. Oznamets ^{a,*}

^aMoscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Russian Federation

Abstract

The article analyzes the geodetic support of space research. The article shows that geodesy is a science of space, and therefore, geodesic support can be extended to outer space. The analysis shows that the components of the geodetic support of space research are: space geodesy, geodesic astronomy, satellite geodesy and space geoinformatics. The geodetic support of space research has five directions of development. The geodetic support of space research has two groups, each of which includes all five areas. The first group is aimed at supporting Earth exploration from outer space and near-Earth outer space and aimed at exploring extraterrestrial space. The second group of geodetic support for space research is aimed at supporting research on extraterrestrial space. The article highlights the strategic and tactical tasks of geodetic support for space research. The main model, which is formed on the basis of the geodetic support of space research, is a three-dimensional model and a triangulation model for covering the surface of spatial objects. The article justifies the new term "geodetic support for space research". The article confirms the conclusion that geodesy and geoinformatics are applicable for the study and measurement of space bodies.

Keywords: geodesy, geodetic support, space research, geodetic support of space research, space geodesy, space geodetic measurements.

1. Введение

Космическая эра создала новые шансы для развития космической геодезии, наземной геодезии и для интеграции геодезического обеспечения. Космические технологии позволили измерять точки на земной поверхности с пунктов наблюдения, расположенных в околоземном космическом пространстве (Barmin et al., 2014). Космические пункты наблюдений удалены от поверхности Земли на десятки тысяч километров. Информативность (Номоконов, Цветков, 2015) космических снимков превосходит информативность наземных и воздушных (Савиных, Цветков, 2001) снимков. Один космический снимок может заменить сотни аэрофотоснимков. Он может содержать изображение всей земной полусферы. Использование космических исследований расширили трактовку геодезии как науки и изменили представление о ее задачах. В работе (Савиных, 2019) показано, что в настоящее время геодезия вышла за рамки изучения только земной поверхности и является наукой о земном и неземном пространстве. Космическое пространство является разновидностью пространства. Следовательно, геодезия может быть использована для поддержки космических исследований. Это дает основание ввести понятие космическое геодезическое обеспечение (КГО) Современное КГО включает ряд наук: космическую геодезию, геодезическую астрономию, космическую геоинформатику, геодинамику и спутниковую геодезию. КГО является важным научным направлением, что

* Corresponding author
 E-mail addresses: voznam@bk.ru (V.V. Oznamets)

определяет актуальность исследований в этой области.

2. Обсуждение и результаты

Основные направления геодезического космического обеспечения.

Геодезическое обеспечение космических исследований включает пять направлений. Первое направление связано с геодезическим обеспечением земной поверхности для сопоставления измерений в космосе с наземными измерениями. Второе направление геодезического космического обеспечения связано с измерениями в спутниковой геодезии и измерениями в спутниковых группировках. Оно использует в качестве основы космическую геодезию (Calonico et al., 2019). Третье направление геодезического космического обеспечения связано с астрономическими измерениями и имеет в качестве развития геодезическую астрономию (Gospodinov, 2018). Четвертое направление геодезического космического обеспечения связано с современными технологиями интегрированной обработки пространственной информации. Оно использует как основу теорию и методы геоинформатики (Майоров, Цветков, 2013). Это направление включает интеграцию технологий и методов обработки данных. Оно имеет в качестве развития космическую геоинформатику (Bondur, Tsvetkov, 2015). Пятое направление геодезического космического обеспечения связано с необходимостью обработки больших объемов информации, что обусловлено совершенствованием средств измерений и разнообразием датчиков получающих пространственную информацию. Оно имеет в качестве развития решение проблемы «больших данных» (Буравцев, Цветков, 2019).

Геодезическая поддержка космических исследований интегрирует методы наземной геодезии, космической геодезии и космической геоинформатики. При рассмотрении геодезического космического обеспечения, необходимо остановиться на основных задачах геодезии, которые органично связаны с космическим геодезическим обеспечением. Основные задачи геодезии делятся на стратегические и тактические. Стратегические задачи наземной геодезии показаны на Рисунке 1. Они входят в геодезическое обеспечение космических исследований.

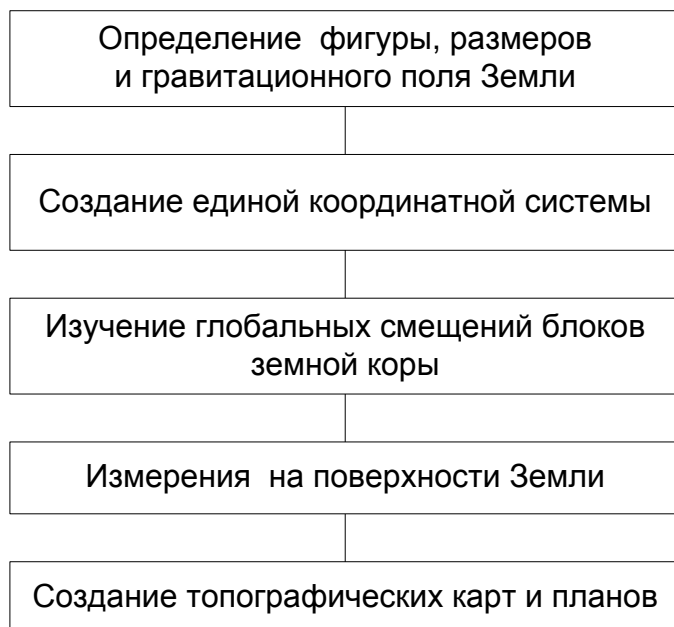


Рис. 1. Стратегические задачи земной геодезии

Стратегические задачи земной геодезии включают следующие научные направления:

- исследование фигуры Земли
- исследование гравитационного поля Земли;
- создание координатной системы на разные;

- проведение геодезических измерений на поверхности, подповерхностью и над поверхностью Земли;
- репрезентация пространственной информации на топографических картах и планах;
- формирование цифровых моделей и цифровых карт (Цветков, 2016);
- изучение динамических смещений земной коры.

Создание единой координатной системы на территории разного масштаба отдельного государства, континента и всей Земли в целом входит в задачи космического геодезического обеспечения (Merkowitz et al., 2019). Применительно к геодезическому обеспечению космических исследований развитие получили специальные геодезические сети для космических исследований (Merkowitz, 2019).

Тактические задачи геодезического космического обеспечения

Тактические задачи геодезического космического обеспечения не связаны напрямую с космическими исследованиями. Но косвенно через нормативы и методики они связаны с этим направлением. Их состав показан на Рисунке 2.

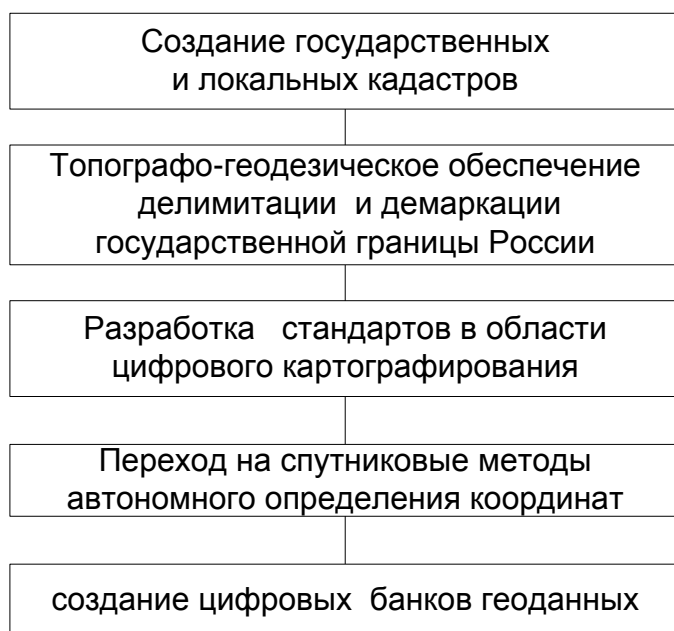


Рис. 2. Тактические задачи геодезии

Существует государственная программа перехода от наземных геодезических измерений к спутниковым методам измерений. Спутниковое определение координат, а также создание инфраструктуры пространственных данных в настоящее время опирается на космические исследования. Практические задачи геодезического обеспечения космических исследований имеют широкое значение (Савиных, 2012). Появились новые методы измерений, и увеличилась точность геодезических космических измерений.

Использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для решения геодезических задач способствовало развитию раздела геодезии – космической геодезии. Первоначально космическая геодезия занималась определением размеров и фигуры Земли, параметров ее гравитационного поля. Основой этих работ были результаты наблюдений, получаемых с ИСЗ разных типов и назначений, а также с борта космических аппаратов. Это определило первую группу геодезического обеспечения космических исследований как обеспечение наземных исследований из космоса и исследований околоземного космического пространства (Barmin et al., 2014). Затем исследования космической геодезии были направлены в сторону от Земли в космическое пространство. Большую роль при этом сыграла астероидно-кометная опасность. Это определило вторую группу геодезического обеспечения космических исследований как геодезического обеспечения космических внеземных исследований. Все пять направлений входят в эти две группы.

Спутниковая геодезия применяет методы нахождения связи между пунктами нахождения ИСЗ на основе законов динамики движения. Технологии спутниковой геодезии не требуют одновременного измерения во всех пунктах. Технологии спутниковой геодезии привели к созданию новой геодезической сети. Это космическая геодезическая сеть. Эта сеть на земной поверхности, которая создается и развивается на основе геодезических пунктов, положение которых определено по наблюдениям ИСЗ. Измерения на земной поверхности осуществляют на основе теории пространственной засечки. Согласно этой теории, необходимо использование не менее 4-х пространственных точек (спутников), видимых с этой поверхности.

К динамическим задачам геодезического обеспечения космических наземных исследований относят определение параметров гравитационного поля Земли путём измерения параметров орбит ИСЗ, вычисляемых по результатам позиционных и дальномерных наблюдений ИСЗ. Геодезическое обеспечение космических наземных исследований позволяет по-новому решать ряд существующих задач, что показано на [Рисунке 3](#).



Рис. 3. Применение космической геодезии в исследовании Земли и космического пространства

Спутниковая триангуляция. Одним из методов геодезического обеспечения космических наземных исследований относят синхронное наблюдение ИСЗ из нескольких пунктов на земной поверхности. Если в земной системе координат известны положения двух (или более) этих пунктов, то путём решения пространственных треугольников с одной из вершин в точке нахождения космического объекта можно вычислить положения также и др. пунктов, из которых проводились наблюдения.

Такой метод установления тринитарной ([Kudzh, Tsvetkov, 2020](#)) пространственной связи на земной поверхности между фиксированными пунктами называется спутниковой триангуляцией. При одновременных позиционных (координатных) и дальномерных (дистанционных) наблюдениях с ИСЗ тринитарные пространственные связи находят и при одном пункте с известным положением при использовании геодезического векторного хода. При таком подходе точка нахождения ИСЗ (точнее точка нахождения радиопередающей аппаратуры) обозначает координированную точку, фиксированную в пространстве в некоторый момент времени.

Измерение протяженных объектов. Измерение протяженных объектов на земной поверхности всегда представляло проблему в связи с особенностью отображения земной поверхности по зонам. С большой высоты человек получил возможность измерять протяженные линейные объекты на поверхности Земли (сотни и тысячи километров).

Измерение геопотенциала. Измерение геопотенциала осуществляют с применением динамических методов. Используя сравнительный анализ, сравнивают экспериментальные и

теоретически вычисленные положения ИСЗ в пространстве. На основе сравнения находят разности, которые позволяют строить динамическую модель. Разности между теорией и экспериментом относят на счет информационной неопределенности определения гармонических коэффициентов геопотенциала. По статистическим данным и соответствующим уравнениям можно уточнить первичные параметры гармонических коэффициентов геопотенциала. В свою очередь, уточненные значения коэффициентов геопотенциала позволяют с большей точностью определить местонахождение или локализацию ИСЗ, а также получить уточненное положение его орбиты. на орбите, Этот процесс можно повторять итеративно и методов последовательных приближений повышать точность определения коэффициентов геопотенциала. Таким образом получается инкрементная модель исследований, повышающая точность определения координат орбиты и параметры геопотенциала.

Для сравнения в 1950 г. был известен точно только один параметр – сжатие земного эллипсоида. Другой параметр – сжатие экватора был определен с меньшей точностью. После начала запусков ИСЗ появилась возможность получать значения гармонических коэффициентов высоких степеней. В частности были рассчитаны получены достаточно точные значения гармонических коэффициентов для порядка $n = 8$ и степени $m = 8$. Современные методы исследования геопотенциала дают возможность рассчитывать значения гармонических коэффициентов для порядка $n = 24$ и степени $m = 24$. Этот порядок и степень позволяют определять не два как в 1950, а около 500 коэффициентов, характеризующих модель гравитационного поля Земли. Таким образом, методы космической геодезии позволяют повышать точность пространственных моделей Земли и в принципе любой планеты при использовании спутниковых наблюдений этой планеты

Спутниковая альтиметрия. Это направление развивается с 1974 г. Лазерные, а также радиоальтиметры (высотомеры) на ИСЗ давали данные, позволяющие определять параметры орбиты ИСЗ. Здесь складывалась такая же ситуация как с геопотенциалом. С увеличением точности определения высот поверхности Земли появились методы введения поправок в параметры орбиты. Введение поправок в параметры орбиты дало возможность определять высоту орбиты с большей точностью. Более точное определение параметров орбиты привело к более точному определению высоты с помощью спутниковой альтиметрии. В частности, ИСЗ «Геос» с помощью альтиметра измеряет расстояние до поверхности океана с точностью 1-3 м. Такая точность позволяет уточнять форму геоида на участках Мирового океана и выявлять пространственные аномалии. Сравнительный анализ измерений с помощью альтиметра и измерений другими методами показал высокое информационное соответствие при измерении профиля геоида этими методами. Существует возможность повышения точности спутниковой альтиметрии до 10 см. Лазерная альтиметрия обеспечивает точность порядка определения высоты до 1 см.

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС). Эта сеть содержит постоянные и квазистационарные пункты. Эти пункты задают единую координатную систему на поверхности Земли, включая территорию Российской Федерации. Положение пунктов ФАГС может быть определено с предельной ошибкой не более $3 \text{ мм} \cdot 10^{-8}$ от радиуса Земли методами космической и спутниковой геодезии. В текущей ситуации Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть задает главную геодезическую основу и заменяет Астрономо геодезическую сеть (АГС). При формировании государственной геодезической сети ФАГС служить базовой сетью.

Основные пункты этой сети в среднем расположены на расстоянии 300000-500000 км². Смежные пункты этой сети в среднем расположены на расстоянии 650-1000 км. Расстояние активными пунктами в среднем составляет 1500-2000 км. Пункты сети закреплены с обеспечением стабильности их положения в плане и по высоте на длительный период.

Координаты пунктов сети определены в геоцентрической системе координат со средне квадратической ошибкой 10-15 см. Определение координат производят методами космической геодезии. Координаты пунктов сети при учете взаимного положения пунктов имеют более высокую точность и соответствуют примерно 2 см в плане и 3 см по высоте.

Кроме создания единой координатной среды ФАГС решает другие задачи. Глобальной задачей является повышение точности определения геоцентрической системы координат. Локальной задачей ФАГС является оценка динамики координат пунктов сети. Локальной задачей ФАГС является определение пунктах сети значений нормальных высот. Локальной задачей ФАГС является определение пунктах сети значений ускорений силы тяжести. Периоды

определений на пунктах сети пока установлены на срок 5-8 лет. При решении специальных задач эти периоды могут изменяться.

Уточненная геоцентрическая система координат задаваемая пунктами ФАГС согласовывается с астрономическими системами координат и связана с аналогичными пунктами других государств.

Геоцентрическая система координат, уточняемая с помощью ФАГС, комплементарная другим сетям. В первую очередь это высокоточная геодезическая сеть (ВГС), а также спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1). СГС-1. Комплементарность этих сетей обеспечивает оптимальные условия для реализации точных и оперативных измерений с помощью спутниковой аппаратуры. Сети в целом обеспечивают создание Высокоточной Национальной геоцентрической системы координат.

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Эти системы работают с помощью аппаратуры для спутников систем GPS и для спутников системы ГЛОНАСС. Есть аппаратура только для спутников систем GPS, есть только для спутников системы ГЛОНАСС. Есть гибридная аппаратура для обеих систем. Динамические измерения в реальном времени позволяют создавать единое навигационное поле для определения координат точек на земной поверхности и подвижных объектов. Эффективность применения геодезического обеспечения космических внеземных исследований проявляется на примере исследований в области кометно-астероидной опасности. Оно связано с вычислением траекторий опасных космических тел и измерениями на поверхности других планет или иных небесных тел.

3. Заключение

Исследования показывают, что методы геодезии и геоинформатики применимы для измерения и описания любого пространственного космического тела. Соответственно, геодезическое обеспечение применимо к космическим исследованиям как наземного, так и внеземного характера. Проведенные исследования показывают целесообразность введения нового термина космическое геодезическое обеспечение. Геодезическое космическое обеспечение является интегрированным научным направлением и включает космическую геодезию, геодезическую астрономию и космическую геоинформатику и спутниковую геодезию. Геодезическое космическое обеспечение является важным инструментом развития экономики и науки. Оно является важным ресурсом повышения потенциала научного развития. Геодезический подход во многих случаях является альтернативой картографическому подходу при описании объектов на поверхности Земли и других планетах. Современное космическое геодезическое обеспечение ориентировано на получение трехмерных цифровых моделей. Картографическое моделирование связано с регулярными поверхностями и является двумерным. Геодезический подход допускает не регулярность формы объекта гладкость поверхности. Геодезическое космическое обеспечение может описывать поверхность небесного тела с помощью универсальной триангуляционной модели. Технически триангуляционная поверхность может быть разрезана и трансформирована в плоскость для получения плоской визуальной модели. Такая модель не является картой в общепринятом понимании. Но она позволяет решать задачи навигации на небесном теле. Любой космический объект может быть покрыт геодезической сетью. Статья подтверждает вывод о том, что геометрия, геодезия и геоинформатика, несмотря на корневую часть слова «гео», применимы для исследования и измерений космических тел.

Литература

- Буравцев, Цветков, 2019 – Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // *Информация и космос*. 2019. 3: 110-115.
- Майоров, Цветков, 2013 – Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // *Информационные технологии*. 2013. 11: 2-7.
- Номоконов, Цветков, 2015 – Номоконов И.Б., Цветков В.Я. Многоаспектность информативности // *Дистанционное и виртуальное обучение*. 2015. 12: 74-80.
- Савиных, 2012 – Савиных В.П. Система получения координатно-временной информации для решения задач мониторинга // *Науки о Земле*. 2012. 3: 4-7.
- Савиных, 2019 – Савиных В.П. Новый взгляд на геодезию // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2019. № 1. С. 58-63.

Савиных, Цветков, 2001 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Москва, Картоцентр-Геодиздат, 2001. 224 с.

Цветков, 2016 – Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. 4-2: 348-351.

Barmin et al., 2014 – Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Near Earth Space as an Object of Global Monitoring // *Solar System Research*. 2014. Vol. 48, No. 7, pp. 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.

Calonico et al., 2019 – Calonico D., Clivati C., Mura A., Levi F., de Cumis M.S., Amato L.S., ... & Maddaloni P. A Coherent Fibre Link for Space Geodesy / *2019 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium and European Frequency and Time Forum (EFTF/IFC)*. 2019. (pp. 1-2). IEEE.

Gospodinov, 2018 – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.

Merkowitz et al., 2019 – Merkowitz S.M., Bolotin S., Elosequi P., Esper J., Gipson J., Hilliard L., Lemoine F.G. Modernizing and expanding the NASA Space Geodesy Network to meet future geodetic requirements // *Journal of Geodesy*. 2019. 93(11): 2263-2273.

Merkowitz, 2019 – Merkowitz S. The NASA space geodesy network, 2019.

References

Barmin et al., 2014 – Barmin, I.V., Kulagin, V.P., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Near Earth Space as an Object of Global Monitoring. *Solar System Research*. Vol. 48, No. 7, pp. 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

Buravtsev, Tsvetkov, 2019 – Buravtsev, A.V., Tsvetkov, V.Ya. (2019). Oblachnye vychisleniya dlya bol'shikh geoprostranstvennykh dannykh [Cloud computing for large geospatial data]. *Informatsiya i kosmos*. 3: 110-115. [in Russian]

Calonico et al., 2019 – Calonico, D., Clivati, C., Mura, A., Levi, F., de Cumis, M.S., Amato, L.S., ... & Maddaloni, P. (2019). A Coherent Fibre Link for Space Geodesy. *2019 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium and European Frequency and Time Forum (EFTF/IFC)*. (pp. 1-2). IEEE.

Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.

Maiorov, Tsvetkov, 2013 – Maiorov, A.A., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Geoinformatika kak vazhneishee napravlenie razvitiya informatiki [Geoinformatics as the most important direction in the development of informatics]. *Informatsionnye tekhnologii*. 11: 2-7. [in Russian]

Merkowitz et al., 2019 – Merkowitz, S.M., Bolotin, S., Elosequi, P., Esper, J., Gipson, J., Hilliard, L., Lemoine, F.G. (2019). Modernizing and expanding the NASA Space Geodesy Network to meet future geodetic requirements. *Journal of Geodesy*. 93(11): 2263-2273.

Merkowitz, 2019 – Merkowitz S. (2019). The NASA space geodesy network.

Nomokonov, Tsvetkov, 2015 – Nomokonov, I.B., Tsvetkov, V.Ya. (2015). Mnogoaspektnost' informativnosti [The multidimensionality of information content]. *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie*. 12: 74-80. [in Russian]

Savinykh, 2012 – Savinykh, V.P. (2012). Sistema polucheniya koordinatno-vremennoi informatsii dlya resheniya zadach monitoringa [A system for obtaining coordinate-time information for solving monitoring problems]. *Nauki o Zemle*. 3: 4-7. [in Russian]

Savinykh, 2019 – Savinykh, V.P. (2019). Novyi vzglyad na geodeziyu [A new look at geodesy]. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 1: 58-63. [in Russian]

Savinykh, Tsvetkov, 2001 – Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. Moskva, Kartotsentr-Geodezizdat, 224 p. [in Russian]

Tsvetkov, 2016 – Tsvetkov, V.Ya. (2016). Tsifrovye karty i tsifrovye modeli [Digital maps and digital models]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 4-2: 348-351. [in Russian]

Геодезическое обеспечение космических исследований

Владимир Владимирович Ознамец ^{а, *}

^аМосковский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрено геодезическое обеспечение космических исследований. Показано, что геодезия является наукой о пространстве и в силу этого геодезическое обеспечение может быть распространено на космическое пространство. Показано, что составными частями геодезического обеспечения космических исследований являются: космическая геодезия, геодезическая астрономия, спутниковая геодезия и космическая геоинформатика. Показано, что геодезическое обеспечение космических исследований имеет пять направлений развития. Геодезическое обеспечение космических исследований имеет две группы, каждая из которых включает все пять направлений. Первая группа направлена на поддержку исследований Земли из космоса и околоземное космическое пространство и направленное на исследование внеземного космического пространства. Вторая группа геодезического обеспечения космических исследований направлена поддержку исследований внеземного пространства. Детализированы стратегические и тактические задачи геодезического обеспечения космических исследований. Основная модель, которую формируют на основе геодезического обеспечения космических исследований, это трехмерная модель и триангуляционная модель для покрытия поверхности пространственных объектов. Статья обосновывает новый термин «геодезическое обеспечение космических исследований». Статья подтверждает вывод о том, что геодезия и геоинформатика – применимы для исследования и измерений космических тел.

Ключевые слова: геодезия, геодезическое обеспечение, космические исследования, геодезическое обеспечение космических исследований, космическая геодезия, космические геодезические измерения.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: voznam@bk.ru (В.В. Ознамец)

Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2020, 6(1): 23-34

DOI: 10.13187/rjar.2020.1.23
www.ejournal28.com



Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft

Viktor P. Savinych ^{a, b, *}

^a Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky (RACT), Russian Federation

^b Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation

Abstract

The article examines space visual-instrumental observations used in observing space objects and phenomena. Visual instrumental observations include: observation by the human eye, the human eye and an optical device, only an optical or photogrammetric device. The article describes the features of observation of moving objects in outer space. The article proves that there is a distorted perception of the size of fast-moving objects in outer space. The article describes the distortion of the color perception of fast-moving objects in space. The article proves that the purpose of visual-instrumental observations is to build scenes and achieve a holistic perception or gestalt. The article shows the importance of perception, reception and apperception in visual and instrumental observations. Experimental observations of space objects are given. The article proves that the angular measurements of space objects are a stable quantity and can be the basis for visual space observations. Angular measurements of space objects can be used in comparative analysis and comparative planetology.

Keywords: space exploration, visual observations, instrumental observations, fact-fixing models, angular measurements, the integrity of perception, scene construction.

1. Введение

Визуально-инструментальными наблюдениями называют наблюдения и измерения, которые проводят с использованием человеческого зрительного аппарата и оптических приборов. Приборы используют для специальных спектрометрических измерений и фотофиксации. Визуально-инструментальные наблюдения выполняют на земной поверхности, на воздушных носителях и на космических аппаратах. Все визуально-инструментальные наблюдения включают геометрический анализ и спектрально-энергетический анализ. В ряде случаев эти наблюдения дополняются методами пространственной логики (Цветков, 2019). Пространственная логика тесно связана с когнитивным анализом и когнитивным моделированием (Tsvetkov, 2015). Наземные и воздушные наблюдения используют для наблюдений объектов и явлений на поверхности Земли и на поверхности мирового океана. В целом они исследуют характеристики объектов и явлений в инфосфере (Иванников и др., 2013). Космические визуально-инструментальные наблюдения имеют свою специфику и качественно отличаются от наземных и воздушных наблюдений. Для космических наблюдений характерна иная контрастность наблюдаемых объектов и высокие скорости движения наблюдаемых объектов и носителя наблюдений – космического аппарата. Визуально-инструментальные наблюдения имеют разные варианты

* Corresponding author

E-mail addresses: president@miigaik.ru (V.P. Savinych)

реализации. Они допускают наблюдение человеческим глазом, человеческим глазом + оптический прибор, инструментальное наблюдение (например, фотоснимок). В основе наблюдения человеком лежит теория видимости. В основе обработки и применения снимков лежит фотограмметрия, геометрия и проективная геометрия. Теория видимости анализирует два направления: композиция объект-фон; композиция среда-оператор. В рамках наблюдений решают задачу целостности образа или гештальта (Tsvetkov, Maslov, 2014). Теория видимости (Каган, 1968) решает комплекс задач, некоторые из которых применимы к космическим исследованиям. Теория видимости для космических исследований является пока недостаточно освоенным, поэтому данная тематика является актуальной.

2. Обсуждение и результаты

Визуальные наблюдения

Особенностью визуальных наблюдений из космоса является рецепция информации (Цветков, 2016a) оператором и подключение когнитивного пространства (Tsvetkov, 2015) оператора к приему информации. Космические наблюдения используют оптическую и фотограмметрическую аппаратуру. Визуальные наблюдений без использования аппаратуры, также позволяют зафиксировать ряд явлений, как например (Савиных, 1991): явление Глена; дневное свечение атмосферы; ночной светящийся слой атмосферы; серебристые облака (Савиных, Цветков, 2019).

Визуальные наблюдения оператора дополняют наблюдения с помощью приборов. Они в основном служат основой качественного анализа космической информации (Зверев и др., 1996). При длительных космических полетах не только возрастает доля информации, поступающая на зрительный анализатор (ЗА) космонавта, но и увеличивается психофизическая нагрузка, которая влияет на восприятие и анализ нагрузка (Савиных, Соломатин, 1993).

Зрительный анализатор в космосе дает 95 % всей информации о внешней среде (Савиных, 1991). Поэтому ЗА можно рассматривать с аппаратных позиций как инструмент. Важнейшими характеристиками ЗА как инструмента являются объективные для многих оптических приборов частотно-контрастная характеристика и пороговая чувствительность, а также субъективные характеристики человеческой сенсорной системы, инерция фиксации изображения и субъективное цветовое восприятие.

Человеческая сенсорная система включает восприятие и анализ. Зрительное восприятие включает процессы рецепции, перцепции (Номоконова, 2020) и апперцепции (Сабирова, Мухарлямова, 2015). Зрительный анализ включает: когнитивный анализ (Seamster, Redding, 2017), извлечение неявных знаний (Sigov, Tsvetkov, 2015), включение пространственной логики (Kudzh, Tsvetkov, 2020) и интерпретацию информации (Чехарин, 2015).

Основные характеристики зрительного анализатора наблюдателя

Зрительный анализатор обладает возможностью самонастройки. Существует понятие оптическая система глаза (Савиных, Фимин, 1998). При наблюдении предметов на разных расстояниях происходит аккомодация, которая позволяет менять фокусное расстояние глаза. Напомним, что аккомодация состоит в возможности увеличения преломляющей силы глаза для получения четкого изображения на сетчатой оболочке. Обычное фокусное расстояние глаза примерно равно 17 мм. Его изменение – первый этап самонастройки глаза или его адаптация к внешним условиям. Второй этап самонастройки состоит в возможности изменения зрачка глаза. Радужная оболочка образует входной зрачок глаза. Диаметр зрачка глаза меняется в зависимости от освещенности в обратной пропорции. Чем слабее освещённость, тем больше диаметр зрачка и наоборот.

Сетчатка глаза содержит светочувствительные клетки: колбочки и палочки. Колбочки большей частью размещаются в центральной части, угловой размер которой составляет $1,36^\circ$. Они отвечают за дневное или основное центральное зрение. При перемещении к периферии число колбочек уменьшается, а число палочек сначала растет. Палочки отвечают за периферическое боковое зрение и ночное зрение. У оптиков есть поговорка: «Если хочешь увидеть слабую звезду, не смотри на нее». Это имеет вполне логическое объяснение так как порог чувствительности палочки выше и краем глаз можно увидеть слабое свечение, которое центральная часть глаза не воспринимает.

Таким образом, колбочки и палочки комплементарны, они дополняют друг друга. Они функционируют при разных уровнях освещения и совместно создают зрительную картину или пространственно цветовой образ.

Глаза как оптическая линза создает уменьшение и перевернутое изображение предмета. Однако психофизические процессы переворачивают изображение в соответствии с его положением в пространстве. Этот механизм работает в прямом и обратном направлении. Проводились эксперименты по длительному наблюдению объектов окружающего мира человеком в позе вниз головой. С течением времени у него выработалось восприятие правильного положения объектов, соответствующего их положению в пространстве по отношению к земной поверхности. На земной поверхности это возможно в силу того, что земная поверхность играет роль внешней «опоры» для зрительного восприятия. В космосе такой внешней опоры нет и космонавт использует «внутреннюю зрительную опору» – кабину корабля.

Как элемент самонастройки хрусталик обладает возможностью изменять преломляющую силу. Диапазон изменений 19-33 диоптрий. Напомним, что диоптрия есть единица оптической силы линзы с фокусным расстоянием один метр. Это обеспечивается в основном передней поверхностью глаза и возможностью взаимного перемещения слоев тела хрусталика.

При построениях изображений пространственных образов с помощью глаза как оптической системы упрощают схему глаза как линзы, заменяя её одной преломляющей поверхностью. Такая оптическая модель построения изображений при помощи глаза называется *редуцированной (упрощенной)*. Эта модель обычно имеет одну узловую точку, расположенную на расстоянии 6,8 мм сзади роговицы.

Как уже отмечалось в космосе характерно длительное визуальное наблюдение. Первоначально зрение космонавта и его психофизическое состояние можно охарактеризовать нормальное. Специфика освещения космических объектов и наблюдения приводит к утомлению, что требует периодического отдыха и восстановления нормальной способности зрительной системы. При наличии «зрительной опоры» у человека имеет место относительно устойчивое сведение и разведение зрительных осей двух глаз. Это необходимо для стереоскопического восприятия объектов на разных расстояниях. В оптике эти процессы называют конвергенция и дивергенция. В космосе при отсутствии «зрительных опор» эта способность может ослабевать. То же самое касается длительных космических полетов. Поэтому на борту должно находиться устройство для тестирования и сохранения способности дивергенции и конвергенции.

Функциональные характеристики зрения человека в земных условиях даны в (Савиных, Цветков, 2001). В космосе эти характеристики меняются. Поэтому необходим периодический каллометрический контроль состояний зрительного аппарата космонавта.

При визуально-инструментальных наблюдениях пространственных объектов в космосе наиболее важными являются две группы характеристик: оптические и геометрические. Следует выделить ряд особенностей зрительного аппарата человека в сравнении с оптическими системами (Савиных, Цветков, 2001). У человека присутствует более высокая пороговая чувствительность зрения в видимой области спектра до 10" Вт. Человек более оперативно реагирует на динамику ситуации и ее изменение. Высокая разрешающая способность до 1' в большой зоне наблюдения. Большинство оптических приборов имеют ограниченную угловую зону. Человек обладает ассоциативной селективностью, которая состоит в возможности выделения пространственного объекта по ассоциативным или стереотипным связанным признакам. Для сравнения оптические приборы переносят образ видимой части объекта точка за точкой в изображение на снимке. В отличие от прибора, для которого резкое увеличение яркости может забивать все изображение, у человека есть способность самонастройки, что создает устойчивость к световым помехам. Фотокамеры и оптические приборы переносят образ видимой части объекта точка за точкой механически в изображение на снимке. В отличие от этого человек обладает свойством генерализации, которое состоит в способности обобщения мелких деталей в крупный образ.

В тоже время усталость снижает качество зрительного восприятия и требует периодического отдыха и восстановления. Важно, что наблюдательные и аналитические способности сочетаются в одной зрительной системе. Оптические системы не конкурентоспособны с визуально-инструментальными способностями человека.

Конкуренцию человеку может составить только оптический робот, обладающий теми же возможностями по самонастройке, что и человек.

В процессе визуально-инструментальных человек ассоциативно устанавливает глаз так (Савиных, Фимин, 1998), что изображение объекта O (Рисунок 1) попадает в центральную ямку f желтого пятна.

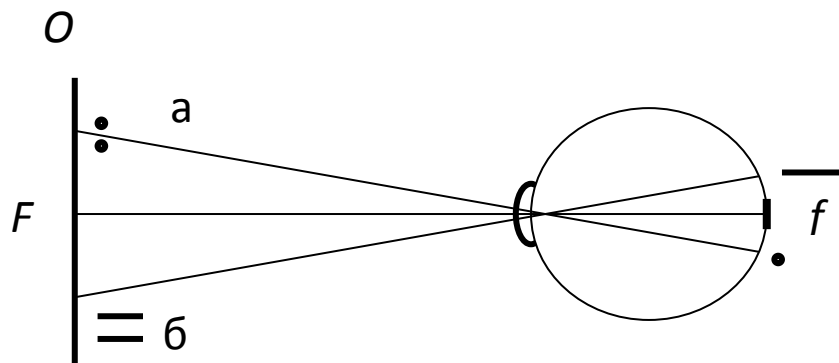


Рис. 1. Геометрическая модель зрительной системы

Пересечение зрительной оси глаза (или главной оптической оси в приборах) с плоскостью рассматриваемого предмета O называется точкой фиксации монокулярного зрения F . Следует отметить, что зрение человека всегда плоскостное, а не объемно как у некоторых насекомых. Человек фокусирует зрение на определенной плоскости и рассматривает ее. По мере необходимости он переносит зрение ближе или дальше и последовательно сканирует весь объект.

Поле зрения человека превосходит поле зрения большинство оптических прибором. По горизонтали оно составляет 150° , а по вертикали 120° . При этом следует отметить, что центральные и боковые предметы человек видит по-разному, что обусловлено механизмом палочек и колбочек. В силу этого существует понятие *угол отчетливого зрения*. Для обозрения больших предметов человек поворачивает голову и глаз для попадания частей предмета в угол отчетливого зрения.

Человек по-разному воспринимает точки и линии. Две точки не воспринимаются отдельно, если их изображения попадают в одну колбочку. Аналогичная ситуация имеет место при попадании точек на один пиксель в сканирующей системе. Однако если они попадают на два соседних пикселя, то они различаются. В отличие от этого, наблюдатель видит точки отдельно, если между их изображениями на сетчатке имеется нераздраженная клеточка – колбочка или палочка. Отсюда предельная острота зрения определяется углом, под которым из задней узловой точки глаза виден диаметр колбочки.

Минимальный угол, для которого человек видит две соседние точки, задает остроту монокулярного зрения первого рода (Рисунок 1 а). Опытным путем получена оценка примерно $45''$. Минимальный угол, для которого человек видит две соседние линии, задает остроту монокулярного зрения второго рода (Рисунок 1 б). Опытным путем получена оценка примерно $20''$. Благодаря этой закономерности космонавт с большей точностью наблюдает линейные объекты чем точечные.

При стерео зрении или стерео наблюдении количество информации возрастает (Бобир и др., 1974).

При стерео наблюдении один угол монокулярного зрения заменяется информационным полем отчетливого бинокулярного зрения. Это информационное поле формируется за счет пересечения двух зон отчетливого зрения. При заданной точке фиксации F (Рисунок 1) бинокулярного зрения человек четко различает предметы, находящиеся в информационном поле отчетливого зрения. На практике получена оценка в $70'$.

Остротой бинокулярного зрения первого рода называют наименьшую разность углов двух соседних точек, при которой заметна разность их глубин. Опытная оценка дает значение $30''$.

Остротой бинокулярного зрения второго рода называют наименьшую разность углов двух соседних линий, при которой заметна разность их глубин. Опытная оценка дает значение $10''$.

Таким образом, для монокулярного и бинокулярного зрения линейные объекты различаются лучше и определяются с более высокой точностью по сравнению с точечными.

Зрительная система как сложная оптическая система.

Восприятие пространственных объектов в оптическом диапазоне может быть описано средствами системного анализа. Для этого надо ввести модель сложной системы, которая описывает процесс построения изображения.

В этом случае процесс визуально-инструментальных наблюдений имеет параметрическое описание, которое позволяет проводить анализ параметров и моделировать различные ситуации. Для каждого объекта или процесса существует понятие ключевые параметры. Эти ключевые параметры задают модель системы визуально-оптических наблюдений (СВОН) в виде следующего кортежа.

$$\text{СВОН} = \langle \text{ЗА}, \text{ОТ}, \text{Ц}, \text{ЕР}, \text{ИТ}, \text{V}, \text{S} \rangle.$$

ЗА — характеристики зрительного анализатора; ОТ — способ отображения наблюдаемой информации; Ц — цели наблюдения; ЕР — параметры внешней среды ИТ — тип информации; V — плотность информации; S — структурная сложность информации; Ключевые параметры можно разделить на группы:

- технические показатели;
- информационно когнитивные интеллектуальные показатели;
- психофизические индивидуальные показатели.

Первая группа показателей характеризует систему наблюдения и условия наблюдений. Вторая группа показателей характеризует интеллектуальные способности и накапливаемый опыт. Третья группа показателей характеризует индивидуальные способности и состояние при наблюдениях (усталость, работоспособность).

Особенности наблюдения подвижных и условно неподвижных объектов.

Оптические наблюдения человека зависят от физиологических процессов. Фиксация подвижных и неподвижных объектов происходит под воздействием чаще отраженного света, который воздействует на сетчатую оболочку глаза. Оптическая фиксация связано с геометрическими (круг, цилиндр, нерегулярная поверхность) и фотометрическими характеристиками (ярко, темно) объектов. Существует понятие субъективная яркость изображения. Она не связана с освещенностью изображения, а определяется условной яркостью изображения на сетчатке. Эта условная яркость изображения зависит от подвижности объекта.

На [Рисунке 2](#) приведена схема формирования изображения подвижного объекта.

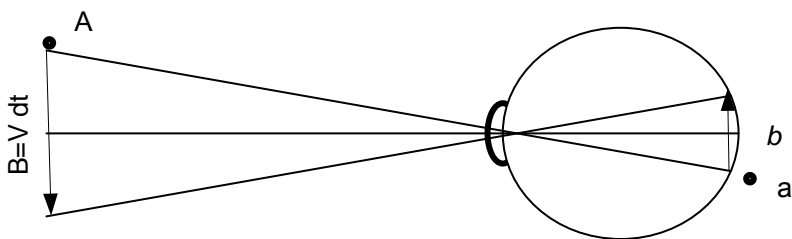


Рис. 2. Схема формирования изображения подвижного объекта

Возможны два случая наблюдения и восприятия пространственного объекта: подвижный и условно неподвижный. Термин условно неподвижный характерен для космических наблюдений поскольку неподвижных объектов в космосе нет. Подвижность — неподвижность определяется появлением смаза изображений. На [Рисунке 2](#) приведен объект А, который воспринимается наблюдателем как точка а. Это условно неподвижный объект. Звезды или небесные тела с отраженным светом можно считать точечными объектами, если их размер в условиях темноты не более $15'$. Для точечного объекта и условно неподвижного объекта яркость характеризуется *блеском*.

На [Рисунке 2](#) показан подвижный объект В, который движется со скоростью v . Реальное время наблюдения конечно и равно dt . В космосе объекты движутся с большими скоростями и объект за время наблюдения может переместиться на расстояние $B = v dt$. Именно это расстояние будет восприниматься наблюдателем как единый объект. Он будет восприниматься как отрезок b . То есть один и тот же объект в зависимости от скорости движения может восприниматься как точка или как отрезок. На [Рисунке 2](#) показан размер b , который измеряется не в линейных единицах, а в угловых. Угловой размер, определяющий линейный размер объекта, уменьшается на светлом фоне. Движущиеся объекты характеризуются угловыми единицами. Движущиеся объекты воспринимаются как линейные, что затрудняет определение их реальной формы.

Подвижные объекты вызывают не только неверное геометрическое восприятие но и неверное цветовое восприятие. С учетом этого на борту космических станций и космических аппаратов устанавливают специальные устройства колориметры. Эти устройства предназначены для проведения цветовых измерений объектов ([Лазарев и др., 1983](#)) и эталонирования. Необходимо отметить, что использование этой технологии в космосе существенно отличается от аналогичной технологии в наземных условиях.

Восприятие цвета объекта зависит от следующих показателей: спектральная чувствительность или воспринимаемость субъекта, субъективное влияние яркости, зависимость восприятия цвета от угловых размеров, зависимость восприятия цвета от временных параметров, зависимость восприятия цвета от частоты наблюдения.

Спектральная чувствительность или спектральная воспринимаемость субъекта заключается в изменении чувствительность глаза в разных областях спектра. При этом имеет место и обобщенная зависимость изменения и частная для каждого наблюдателя.

Субъективное влияние яркости состоит в том, увеличение яркости объекта в отраженном или падающем цвете приводит к смещению цветового диапазона наблюдателя. Например, увеличение яркости объекта в длинно – и средневолновой областей спектра при водит к смещению цветового восприятия в область желтого цвета со снижением восприятия в других областях. Для подвижных объектов это имеет важное значение поскольку может срабатывать эффект Доплера, который усиливает цветовой смещение.

Зависимость восприятия цвета от угловых размеров состоит в том, что изменение цветового восприятия имеет место при уменьшении угловых размеров объекта. Эта закономерность существует во всех спектральных диапазонах начиная для угловых величин менее 1° .

Зависимость восприятия цвета от временных параметров заключается в декомпозиции сочетания цветов для разных интервалов наблюдений. Космические объекты могут появляться в поле зрения космонавта в течение нескольких секунд. Это создает неадекватное представление о реальной яркости и цветосодержании подвижного объекта.

Частота наблюдения является важным фактором, влияющим на цветовое восприятия. Обтюратор перед иллюминаторов дает прерывистое изображение, а на снимке траекторию полета заменяет цепочкой штрихов.

Среднечастотные наблюдения приводит к неадекватному восприятию цветовых диапазонов. Высокочастотные практически дают аналог цвета. Исследования ([Зверев и др., 1996](#)) показали, что минимальное время, требуемое для проведения адекватной оценки цветовых характеристик составляет 10-15 секунд.

Угловая оценка объектов космического пространства.

В астрономии и визуально-инструментальных наблюдениях в космосе применяют не линейные, а угловые единицы для оценки размера объекта. Это обусловлено неопределенностью положения объекта в космическом пространстве, а также с временем его появления в поле зрения оператора. На [Рисунке 3](#) приведена схема визуально-инструментальных наблюдений в космосе.

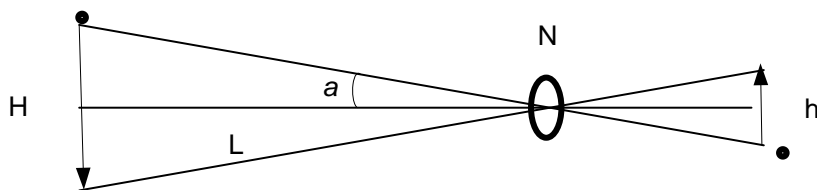


Рис. 3. Схема наблюдений в космическом пространстве

На [Рисунке 3](#) введены следующие обозначения: H – реальный линейный размер объекта, h – наблюдаемый размер объекта, L – реальное расстояние до объекта, a – половина углового размера объекта, N – линза прибора или хрусталик глаза. Реальный линейный размер объекта определяется как

$$H = 2 L \operatorname{tg} a$$

Существует понятие фактофиксирующие ([Цветков, 2016b](#)) и интерпретирующие ([Чехарин, 2015](#)) модели. В случае для [Рисунка 3](#) фактофиксирующими моделями являются a и h . Интерпретирующей моделью является H , поскольку часто L – реальное расстояние до объекта либо неизвестно либо известно приближенно. Поэтому надежной оценкой размеров объекта является величина $2 a$. На [Рисунках 4-6](#) приведены результат визуально-инструментальных наблюдениях Луны при разных угловых размерах.



Рис. 4. Визуально-инструментальное наблюдение Луны расстояние 30 000 км. Угловой размер $6^{\circ} 16' 36''$



Рис. 5. Визуально-инструментальное наблюдение Луны расстояние 60 000 км. Угловой размер $3^{\circ} 13' 37,7''$



Рис. 6. Визуально-инструментальное наблюдение Луны расстояние 6 825 км.
Угловой размер $23^{\circ} 24' 53''$

На [Рисунке 6](#) расстояние наблюдения близко к размеру радиуса Земли. Общий вывод по рис.4-6 в том, что угловое расстояние является устойчивой величиной, в то время как расстояние необходимо определять дополнительно и если оно неизвестно, то только угловые измерения дают фактическую оценку размера объекта. На [Рисунке 7](#) приведен результат визуально-инструментального наблюдения Марса.



Рис. 7. Визуально-инструментальное наблюдение Марса расстояние 30 000 км.
Угловой размер $11^{\circ} 40' 22,3''$

На [Рисунке 8](#) приведен результат визуально-инструментального наблюдения спутника Марса Фобос.



Рис. 8. Визуально-инструментальное наблюдение спутника Марса Фобос
расстояние 150 км. Угловой размер $9^{\circ} 8' 56''$

3. Заключение

Угловые измерения космических объектов являются устойчивой величиной и могут быть использованы в сравнительном анализе и сравнительной планетологии. Угловые измерения космических объектов могут быть использованы в космической геоинформатике (Bondur, Tsvetkov, 2015) и геодезической астрономии (Gospodinov, 2018). Космические визуально-инструментальные наблюдения во многих случаях являются единственным средством наблюдения в космическом пространстве. Космические визуально-инструментальные наблюдения нельзя сводить к визуальным. Они включают визуальный анализ фотоснимков и описание условий съемки для получения нужных сцен.

Литература

- Бобир и др., 1974 – Бобир Н.А., Лобанов А.Н., Федорук Г.Д. Фотограмметрия. Москва, 1974. Недра.
- Зверев и др., 1996 – Зверев Л.П., Овечкин И.Г., Рюмин О.О., Савиных В.П., Тищенко А.А., Фокин В.Е. Цветовые измерения в космосе. Москва, Машиностроение, 1996. 124 с.
- Иванников и др., 2013 – Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Соловьев И.В., Цветков В.Я. (2013). Инфосфера и инфология. Москва, ТОРУС ПРЕСС, 2013, 176 с.
- Каган, 1968 – Каган В.К. Основы информационной теории видимости в атмосфере. Гидрометеиздат, 1968.
- Лазарев и др., 1983 – Лазарев А.И., Коваленок В.В., Савиных В.П. Визуально-инструментальные наблюдения с "Салюта-6". Ленинград, Гидрометеиздат, 1983.
- Номоконова, 2020 – Номоконова О.Ю. Перцепция информации в медицинской диагностике. *Славянский форум*. 2020. 2(28): 75-83.
- Сабирова, Мухарлямова, 2015 – Сабирова Г.И., Мухарлямова Л.Р. Апперцепция понимания пространства в различных культурах // *Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований*. 2015. С. 176-178.
- Савиных, 1991 – Савиных В.П. Визуально-инструментальные исследования Земли с пилотируемого космического комплекса. Москва, Недра, 1991.
- Савиных, Соломатин, 1993 – Савиных В.П., Соломатин В.А. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования. Москва, Недра, 1993, 288 с.
- Савиных, Фимин, 1998 – Савиных В.П., Фимин Р.И. Визуально-инструментальные наблюдения и спектрометрические измерения из космоса. Аэрокосмические визуально-инструментальные наблюдения. Москва, МИИГАиК, 1998.
- Савиных, Цветков, 2001 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Москва, Картоцентр-Геодезиздат, 2001. 224 с.

Савиных, Цветков, 2019 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Исследование серебристых облаков. *ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2019. 3(13): 49-53.

Цветков, 2016a – Цветков В.Я. Рецепция информации // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2016. 1(13): 121-129.

Цветков, 2016b – Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. 9-3: 487.

Цветков, 2019 – Цветков В.Я. Пространственная логика в образовании и науке // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2019. 2(27): 92-102. DOI: 10.21777/2500-2112-2019-2-92-102

Чехарин, 2015 – Чехарин Е.Е. Алгоритмы интерпретации данных дистанционного зондирования // *Славянский форум*. 2015. 3(9): 301-308.

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

Gospodinov, 2018 – Gospodinov S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33

Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Triadic comparative analysis // *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Special Issue*. 2020. No. 10, June, 745-754. DOI: <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00047>

Seamster, Redding, 2017 – Seamster T.L., Redding R.E. Applied cognitive task analysis in aviation. Routledge, 2017.

Sigov, Tsvetkov, 2015 – Sigov A.S., Tsvetkov V.Ya. Tacit Knowledge: Oppositional Logical Analysis and Typologization // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2015. 85(5): 429-433. DOI: 10.1134/S1019331615040073

Tsvetkov, 2015 – Tsvetkov V.Ya. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 149-158.

Tsvetkov, Maslov, 2014 – Tsvetkov V.Ya., Maslov A.S. Informative Description of Gestalt // *European Journal of Technology and Design*. 2014. 3(5): 153-160.

References

Bobir i dr., 1974 – Bobir, N.A., Lobanov, A.N., Fedoruk, G.D. (1974). Fotogrammetriya [Photogrammetry]. Moskva. Nedra. [in Russian]

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

Chekharin, 2015 – Chekharin, E.E. (2015). Algoritmy interpretatsii dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Algorithms for the interpretation of remote sensing data]. *Slavyanskii forum*. 3(9): 301-308. [in Russian]

Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.

Ivannikov i dr., 2013 – Ivannikov, A.D., Tikhonov, A.N., Solov'ev, I.V., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Infosfera i infologiya [Infosphere and infology]. Moskva, TORUS PRESS. 176 p. [in Russian]

Kagan, 1968 – Kagan, V.K. (1968). Osnovy informatsionnoi teorii vidimosti v atmosfere [Foundations of the information theory of visibility in the atmosphere]. Gidrometeoizdat. [in Russian]

Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh, S.A., Tsvetkov, V.Ya. (2020). Triadic comparative analysis *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Special Issue*. No. 10, June, 745-754. DOI: <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00047>

Lazarev i dr., 1983 – Lazarev, A.I., Kovalenok, V.V., Savinykh, V.P. (1983). Vizual'no-instrumental'nye nablyudeniya s "Salyuta-6" [Visual and instrumental observations from Salyut-6]. Leningrad, Gidrometeoizdat. [in Russian]

Nomokonova, 2020 – Nomokonova, O.Yu. (2020). Pertseptsiya informatsii v meditsinskoi diagnostike [Perception of information in medical diagnostics]. *Slavyanskii forum*. 2(28): 75-83. [in Russian]

Sabirova, Mukharlyamova, 2015 – Sabirova, G.I., Mukharlyamova, L.R. (2015). Appertseptsiya ponimaniya prostranstva v razlichnykh kul'turakh [Apperception of understanding space in different cultures]. *Aktual'nye napravleniya fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy*. Pp. 176-178. [in Russian]

[Savinykh, 1991](#) – *Savinykh, V.P.* (1991). Vizual'no-instrumental'nye issledovaniya Zemli s pilotiruемого kosmicheskogo kompleksa [Visual and instrumental studies of the Earth from a manned space complex]. Moskva, Nedra. [in Russian]

[Savinykh, Fimin, 1998](#) – *Savinykh, V.P., Fimin, R.I.* (1998). Vizual'no-instrumental'nye nablyudeniya i spektrometricheskie izmereniya iz kosmosa [Visual and instrumental observations and spectrometric measurements from space]. Aerokosmicheskie vizual'no-instrumental'nye nablyudeniya. Moskva, MIIGAiK. [in Russian]

[Savinykh, Solomatin, 1993](#) – *Savinykh, V.P., Solomatin, V.A.* (1993). Optiko-elektronnye sistemy distantsionnogo zondirovaniya [Optical and electronic systems for remote sensing]. Moskva, Nedra. 288 p. [in Russian]

[Savinykh, Tsvetkov, 2001](#) – *Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. Moskva, Kartotsentr-Geodezizdat. 224 p. [in Russian]

[Savinykh, Tsvetkov, 2019](#) – *Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2019). Issledovanie serebristykh oblakov [Exploration of noctilucent clouds]. *ITNOU: informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 3(13): 49-53. [in Russian]

[Seamster, Redding, 2017](#) – *Seamster, T.L., Redding, R.E.* (2017). Applied cognitive task analysis in aviation. Routledge.

[Sigov, Tsvetkov, 2015](#) – *Sigov, A.S., Tsvetkov, V.Ya.* (2015). Tacit Knowledge: Oppositional Logical Analysis and Typologization. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 85(5): 429-433. DOI: 10.1134/S1019331615040073

[Tsvetkov, 2015](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2015). The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 149-158.

[Tsvetkov, 2016a](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2016). Retseptsiya informatsii [Information reception]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*. 1(13): 121-129. [in Russian]

[Tsvetkov, 2016b](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2016). Faktifiksiruyushchie i interpretiruyushchie modeli [Fact-fixing and interpretive models]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 9-3: 487. [in Russian]

[Tsvetkov, 2019](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2019). Prostranstvennaya logika v obrazovanii i nauke [Spatial logic in education and science]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*. 2(27): 92-102. DOI: 10.21777/2500-2112-2019-2-92-102 [in Russian]

[Tsvetkov, Maslov, 2014](#) – *Tsvetkov, V.Ya., Maslov, A.S.* (2014). Informative Description of Gestalt. *European Journal of Technology and Design*. 3(5): 153-160.

[Zverev i dr., 1996](#) – *Zverev, L.P., Ovechkin, I.G., Ryumin, O.O., Savinykh, V.P., Tishchenko, A.A., Fokin, V.E.* (1996). Tsvetovye izmereniya v kosmose [Color measurements in space.]. Moskva, Mashinostroenie. 124 p. [in Russian]

Визуально-инструментальные наблюдения с борта космического аппарата

Виктор Петрович Савиных ^{a, b, *}

^a Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ), Российская Федерация

^b Московский государственный университет геодезии и картографии, Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует космические визуально-инструментальные наблюдения, применяемые при наблюдении за космическими объектами и явлениями. Визуально-инструментальные наблюдения включают: наблюдение человеческим глазом, человеческим глазом и оптическим прибором, только оптическим или фотограмметрическим прибором. Описаны особенности наблюдения подвижных объектов в космическом пространстве. Показано, что имеет место искаженное восприятие размеров быстро движущихся объектов в космическом пространстве. Показано, что имеет место искажение цветового восприятия быстрых объектов в космосе. Статья доказывает, что целью

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: president@miigaik.ru (В.П. Савиных)

визуально-инструментальных наблюдений является построение сцен и достижение целостного восприятия или гештальта. Статья показывает важность перцепции, рецепции и апперцепции при визуально-инструментальных наблюдениях. Приведены экспериментальные наблюдения космических объектов. Статья доказывает, что угловые измерения космических объектов являются устойчивой величиной и могут быть основой в визуальных космических наблюдениях. Они могут быть использованы в сравнительном анализе и сравнительной планетологии

Ключевые слова: космические исследования, визуальные наблюдения, инструментальные наблюдения, фактофиксирующие модели, угловые измерения, целостность восприятия, построение сцен.

Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2020, 6(1): 35-45

DOI: 10.13187/rjar.2020.1.35
www.ejournal28.com



Determining the Coordinates of Points on the Surface of a Space Body

Sergey V. Shaytura ^{a, b, c, d, e, *}

^a Russian University of Transport (MIIT), Russian Federation

^b International Academy of Informatization, Russian Federation

^c Russian Academy of Cosmonautics. E.K. Tsiolkovsky, Russian Federation

^d International Academy of Sciences of Pedagogical Education, Russian Federation

^e Institute of Humanities, Economics and Information Technologies, Burgas, Bulgaria

Abstract

The article examines the method and algorithm for determining the coordinates of points on the surface of a space body. The article introduces a generalized concept of a cosmic body. This concept includes: planets, planetary satellites, asteroids, comets, small celestial bodies. The survey is carried out from the board of a spacecraft moving past a space body. The trajectory of the spacecraft is considered flat and not perturbed. Rotating the camera creates an overlap area for a pair of photos. Determination of the coordinates of points on the surface of a space body is carried out by photographs. To solve the problem, inertial determination of the coordinates of the spacecraft and rotation of the camera through a known angle are required. The direct photogrammetric intersection is solved under the condition of equality of scales. The non-coplanarity of the vectors defining the position of the point on the surface and the space body is allowed. The method is applicable to determine the coordinates of points on the surface of the Earth and on the surface of other planets.

Keywords: space body, coordinates of surface points, orbit, spacecraft, photography, straight intersection.

1. Введение

Введем понятие космическое тело как обобщенное понятие для космических объектов: планет, спутников планет, астероидов, комет и малых небесных тел. Задача определения геометрических параметров космических тел существует в геодезической астрономии (Gospodinov, 2018), в небесной механике (Яшкин, 2014), в космической геоинформатике (Bondur, Tsvetkov, 2015), в космической геодезии (Calonico et al., 2019, Oznamets, Tsvetkov, 2019), в сравнительной планетологии (Tsvetkov, 2018; Kudzh, Tsvetkov, 2020) и других направлениях. При исследовании космических тел возникают разные задачи. В одних случаях требуется определить сечение космического тела. Эта задача встречается при изучении комет (Tsvetkov, 2017). В других случаях требуется определить динамику движения объекта (Яшкин, 2014). Существует задача определения точек на поверхности тела и формы этой поверхности (Manned Mission to Mars, 2006; Савиных, Цветков, 2001). На произвольном космическом теле, как правило, нет точек с известными координатами, которые называют опорными точками. Ситуация с наличием опорных точек встречается

* Corresponding author

E-mail addresses: swshaytura@gmail.com (S.V. Shaytura)

только в наземной съемке и в аэрофотосъемке поверхности Земли. Большинство методов фотограмметрии используют это условие. Для обработки космических снимков также существуют методики, применяющие опорные точки на поверхности (Бугаевский, Портнов, 1984; Урмаев, 1989). Такие методы обработки космических снимков применимы только для обработки снимков поверхности Земли, полученных из космоса. Данная статья исследует метод расчета координат точек на поверхности космического тела, по снимкам, получаемым при помощи фотограмметрической аппаратуры с отсутствием на поверхности космических тел опорных точек.

2. Обсуждение и результаты

Две ситуации съемки космического тела с космического носителя

Существуют две качественно разные ситуации съемки космического тела с космического аппарата или космического носителя съемочной аппаратуры. Первая ситуация характерна для искусственных спутников Земли. При движении космического аппарата (КА) или космического носителя (КН) аппаратуры по орбите спутника планеты возникает ситуация, приведенная на [Рисунке 1](#) (Tsvetkov, 2011; Бармин и др., 2013). На [Рисунке 1](#) символами «Т» обозначены точки орбиты космического аппарата, в которых инерциальное или иное позиционное устройство определяет координаты траектории КН.

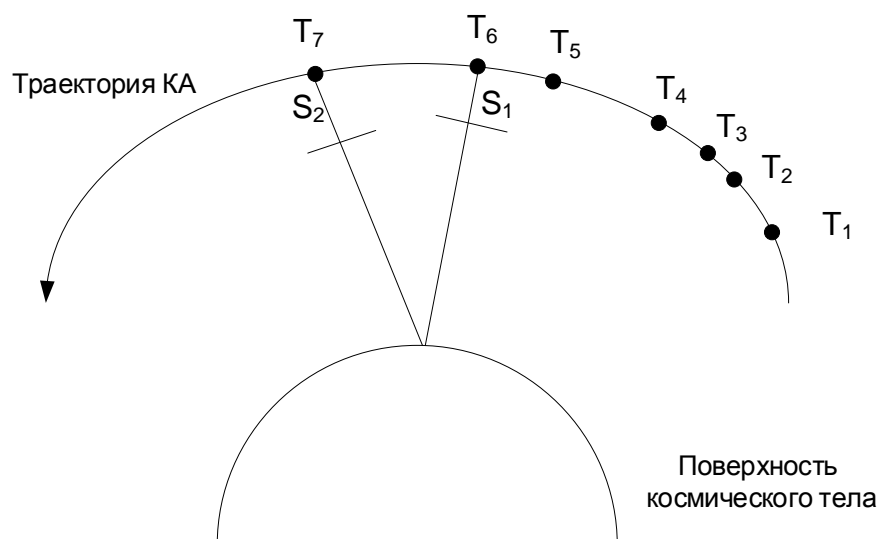


Рис. 1. Движение космического аппарата по орбите спутника

Первая ситуация съемки космического тела ([Рисунок 1](#)) характерна тем, что траектория движения КН близка к эллиптической или круговой. В этом случае можно говорить о замкнутой орбите, которая позволяет делать многократные съемки поверхности космического тела. Набор точек «Т» с известными координатами позволяет вычислить невозмущенную траекторию такой траектории или орбиты. На [Рисунке 1](#) символами S_1 , S_2 – обозначены условно две точки фотографирования с борта КН поверхности космического тела. Принципиально любая известная точка траектории может служить точкой фотографирования. Это является одним из условий применения данного метода при съемке из космического пространства. Координаты точек S_1 , S_2 должны быть известны в относительной или внешней системе координат. Сплошными линиями на рис.1 показаны главные оптические оси фотокамер. Они являются биссектрисами угловой зоны фотограмметрической аппаратуры или оптической аппаратуры. Если оптические оси пересекаются в точке на поверхности космического тела, то частично пересекаются угловые зоны съемки для фотограмметрии или наблюдения для оптики. При пересечении зон съемки возникает область перекрытия на паре снимков и становится возможным стереоскопическое вычисление пространственных координат на поверхности такого

космического тела. При движении космического аппарата не по орбите спутника, а мимо космического тела, может возникнуть вторая ситуация съемки, приведенная на [Рисунке 2](#).

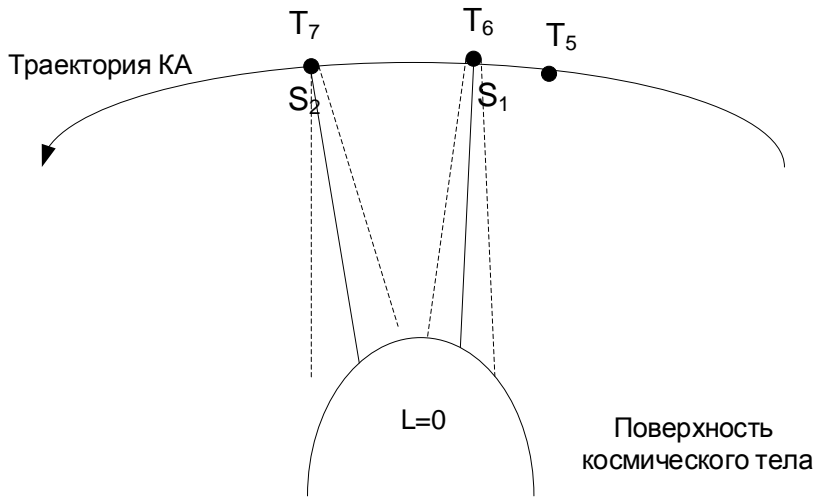


Рис. 2. Ситуация движения КА мимо космического тела

Для второй ситуации на [Рисунке 2](#) космический носитель или космический аппарат приближается к поверхности космического тела и затем удаляется от нее. На [Рисунке 2](#) символами S_1, S_2 – обозначены две точки фотографирования поверхности космического тела с траектории космического носителя. Сплошными линиями на рис.2, как и на [Рисунке 1](#) показаны главные оптические оси фотокамер или оптических приборов. Для [Рисунка 2](#) оптические оси не пересекаются на поверхности космического тела. Это влечет то, что могут не пересекаться и угловые зоны съемки. Область перекрытия снимков или зон наблюдения ($L = 0$, [Рисунок 2](#)) для этой ситуации отсутствует. Поэтому для такой ситуации нельзя рассчитать пространственные координаты точек поверхности космического тела по паре снимков. Можно делать расчеты по каждому снимку независимо, но только при наличии опорных точек.

Если съемочная система имеет возможность поворота на известный угол, то, как альтернатива ситуации на [Рисунке 2](#) возникает ситуация, приведенная на [Рисунке 3](#).

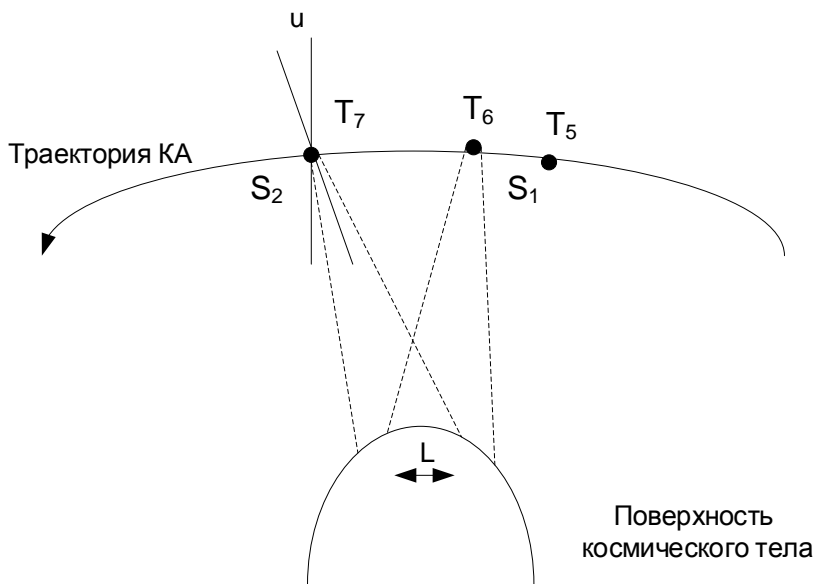


Рис. 3. Съемка при наличии зоны перекрытия на поверхности космического тела

На [Рисунке 3](#) символами S_1 , S_2 , как и на [Рисунке 2](#), обозначены точки фотографирования из космоса поверхности космического тела. Сплошными линиями на [Рисунке 3](#), также как и на [Рисунке 2](#), показаны главные оптические оси фотокамер. Величина u показывает угол поворота камеры во второй точке съемки S_2 . Для рис.3 область перекрытия L отлична от нуля и возникает возможность определения пространственных координат в этой зоне перекрытия за счет появления стереоскопического эффекта.

Важный вывод: наличие механизма поворота камеры на КН создает возможность получения зоны перекрытия снимков на поверхности космического тела мимо которого пролетает КА. Создание зоны перекрытия снимков на поверхности космического тела при известном базисе фотографирования дает возможность определения координат точек на поверхности космического тела в относительной системе координат, связанной с траекторией носителя. Однако этот метод позволяет получить реальные размеры поверхности и объектов на этой поверхности.

Анализ условий съемки и методика расчета

Концепции метода приведены в ([Barmin i dr., 2014](#)). Методика съемки и вычислений включает следующие начальные условия. При съемке используют две системы координат. Внутренняя система координат связана с конфигурацией КН. Внешняя или относительная система координат связан с траекторией КН и возможностью относительного измерения точек на траектории. Космический носитель должен иметь минимум два устройства: фотограмметрическое устройство (или оптическое устройство) для измерения на поверхности космического тела и устройство для относительного измерения координат траектории или орбиты. Фотограмметрическое устройство в начальном состоянии (S_1 , [Рисунок 3](#)) координировано относительно КН во внутренней системе координат. Ставится задача по двум и более снимкам получить координаты точек поверхности космического объекта (планета, астероид, комета) во внешней системе координат. Фотограмметрическое устройство допускает поворот на известный или задаваемый угол в плоскости траектории ([Рисунок 3](#)). Траектория считается не возмущенной и описывается кривой второго порядка. Это важное ограничительное условие применения данной методики. Методика съемки и вычислений включает последовательные этапы.

1. Расчет траектории КН по точкам, с измеренными координатами с помощью инерциального устройства. В этом случае требуется достаточное количество точек для определения либо уравнения траектории, либо экстраполяции не возмущенной траектории по точкам.

2. Второй этап. Расчет координат точек траектории, в которых производится съемка, в относительной системе координат, связанной с траекторией КН, а не с космическим телом. Строго говоря, точки траектории T и точки съемки S не совпадают и между ними существует вычисляемое смещение. Точки траектории рассчитываются для центра масс КН, а точки съемки связаны с передней узловой точкой съемочной аппаратуры, которая, как правило, не совпадает с центром масс КН или КА. Таким образом, при известных точках T требуется пересчет координат для точек S .

3. Третий этап. Выполнение съемки в первой точке S_1 при начальном положении фотограмметрического устройства, ориентированном во внутренней системе координат КН. При этом искомая точка поверхности или область поверхности, или объект на поверхности попадают в информационное поле снимка.

4. Четвертый этап. Перемещение по орбите в другую точку съемки S_2 , координаты которой определены относительно точки S_1 . При этом пространственные координаты точек S_2 , S_1 задают базис съемки и задают внешнюю систему координат, в которой определяются точки поверхности космического тела. Следует подчеркнуть, что определение координат поверхности космического тела осуществляется не в его собственной (неизвестной для наблюдателя) системе координат, а во внешней системе координат, связанной с траекторией КН. Полным аналогом служит определение координат точек на поверхности Земли с помощью систем ГНСС. Координаты точек земной поверхности в этой системе определяют относительно орбит спутников. Привязка координат к земной поверхности осуществляется путем создания и использования базовых станций на земной поверхности. За счет этого повышается точность измерений координат. Для космического тела базовые станции чаще

всего установить невозможно, поэтому его координаты рассчитывают относительно траектории КН.

5. На следующем пятом этапе вручную или с помощью автоматики в точке S_2 выполняют наклон фотограмметрического устройства в плоскости траектории таким образом, чтобы первоначально сфотографированная точка или область поверхности попала в сектор обзора фотограмметрического устройства. На языке аэрофотосъемки это соответствует созданию зоны перекрытия на паре снимков. Различие состоит в том, что аэрофотосъемка выполняется практически в горизонтальной плоскости относительно поверхности Земли с использованием гироскопических устройств, а в космических условиях съемка выполняется с криволинейной орбиты с использованием инерциальных или иных измерительных устройств.

6. На шестом этапе выполняют съемку того же участка поверхности из точки S_2 при новом положении фотограмметрического устройства.

7. На седьмом этапе решают важную задачу идентификации изображений точек поверхности на разных снимках.

8. Восьмой этап. После идентификации изображений измеряют пары координат на снимках, соответствующие общим точкам на поверхности космического тела.

9. На девятом этапе производят расчет пространственных координат точки поверхности по измеренным координатам изображения этой точки на снимке и известном базисе S_2, S_1 .

10. Десятый этап. Процедуру расчета выполняют для всех точек на перекрывающейся области снимков, координаты которых необходимо вычислить.

11. Одиннадцатый этап. По совокупности вычисленных точек строят модель фрагмента поверхности космического объекта. При этом чаще всего используют триангуляционный подход.

Определение координат точек траектории космического носителя можно выполнять разными методами инструментальным и аналитическим. Один из методов описан в работе (Barmin *et al.*, 2014) и в данной статье рассматривать эту процедуру не будем.

Определение пространственных координат поверхности космического тела

Существуют разные подходы к определению координат точек поверхности. Принципиальным является использование модели взаимного ориентирования, когда строится модель без привязки к поверхности и последующей, если возможно привязкой модели к реальным координатам по известным пространственным точкам поверхности. Существует другой метод определения координат за счет прямой засечки при известном базисе съемки. Второй метод предпочтительнее для КН.

Для этого метода съемочная камера ориентирована во внутренней системе координат на КА. Она имеет возможность поворота в направлении движения КН на заданный угол. Этот угол определяется во внутренней системе координат КН. Направление оптической оси камеры в точках траектории T_6 и T_7 или точках съемки S_1, S_2 как различается только направлением оптической оси фотограмметрического устройства. Элементы внутреннего ориентирования в точках S_1, S_2 не меняются, поскольку камера одна. Элементы внешнего ориентирования в точках S_1, S_2 отличаются углом поворота u и координатами точек съемки. Основой расчетов пространственных координат произвольной точки на поверхности является решение прямой засечки (Цветков, Хлебникова, 1987). На Рисунке 4 приведена схема построения координат точки М.

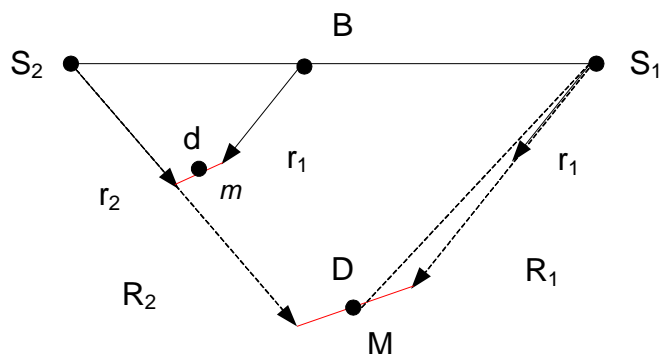


Рис. 4. Определение координат под условием равенства масштабов

На **Рисунке 4** приведены следующие обозначения: S_1, S_2 – точки фотографирования с известными координатами во внешней относительной системе координат; B – пространственный базис съемки, который рассчитывается на основе разности координат точек S_1, S_2 ; M – искомая точка на поверхности космического тела, координаты которой необходимо вычислить; r_1, r_2 , – радиус-векторы в пространстве фотограмметрической модели, направленные в точку модели m по координатам снимков; R_1, R_2 – пространственные вектора направленные в точку M и коллинеарные векторам r_1, r_2 , Условие коллинеарности между R_1, R_2 и r_1, r_2 , выполняется всегда. Точка модели m в пространстве модели является информационным соответствием точки M в реальном пространстве.

В силу погрешностей измерений координат точек снимков вектора r_1, r_2 , формально направленные в точку модели m могут лежать в разных плоскостях. Это означает, что условие компланарности векторов r_1, r_2 , и соответственно векторов R_1, R_2 может нарушаться. При нарушении компланарности векторов r_1, r_2 , их соединяет вектор d в пространстве модели. Этому вектору в соответствие ставится вектор D в реальном пространстве. Вектора модели r_1, r_2 вычисляются по координатам изображений точек снимков и элементам ориентирования в точках: S_1, S_2 .

В геометрии известно, что вектор d – коллинеарен векторному произведению r_1, r_2 . Это дает основание определить его через векторное произведение этих векторов, умноженное на неизвестный коэффициент N_3 . Из рисунка 4 следует векторное уравнение

$$R_1 + R_2 + D = B. \quad (1)$$

При переходе от векторного уравнения во внешней системе координат к векторам r_1, r_2, d во внутренней системе координат получаем трансформированное выражение (2).

$$N_1 \times r_1 + N_2 \times r_2 + N_3 \times d = B, \quad (2)$$

В выражении (2) N_1, N_2, N_3 – масштабные коллинеарные коэффициенты; B – внешний известный базис. Векторное выражение (2) связывает внутреннюю систему координат снимков с внешней системой координат траектории. Оно дает линейную систему трех уравнений для трех неизвестных N_1, N_2, N_3 . После определения коэффициентов коллинеарности можно вычислить коллинеарные вектора в реальном пространстве R_1, R_2, D . Определение координат точки на поверхности космического тела происходит согласно схеме на рис.4 и приведено в выражении (3).

$$R = N_1 \times r_1 + p \times d + R_1, \quad (3)$$

В выражении (3) новым неизвестным и определяемой величиной является p – весовой коэффициент. Весовой коэффициент может быть определен разными эвристическими методами. Одним из принципов его определения является близость точки M к короткому вектору. В этом случае вес определяется как отношение длины проектирующего вектора к сумме длин векторов в реальном пространстве. Если эти вектора равны, то $p = 1/2$. Это означает, что точка M находится на середине отрезка D . При различии длин векторов R_1, R_2 , точка M смещается в сторону короткого вектора. В итоге вычисляются R_1, R_2, D и M . Величина D может служить основой оценки погрешности вычислений в реальном пространстве (Цветков, Хлебникова, 1987).

Определение пространственных форм

Для моделирования крупных космических тел, форма и поверхность которых близка к регулярной, часто в качестве эталонной модели используют правильные геометрические фигуры типа сфера или эллипсоид. Затем вводят поправки в нерегулярность фигуры. После построения фигуры космического тела делают развертки фигуры на плоскость, используя конус, плоскость или цилиндр. Если ведется съемка части поверхности, то такой метод не применим в принципе. В этом случае можно моделировать только часть поверхности небесного тела в виде пространственной модели. Описанный выше метод позволяет решать задачу моделирования части поверхности небесного тела в виде пространственной модели. Если выполнена съемка всего космического тела – полный облет, то можно смоделировать замкнутую модель такого тела, а не только часть поверхности. Использование метода триангуляции (метод Вороного-Делоне) позволяет строить любые поверхности без привязки космического тела к идеальной геометрической фигуре (Рисунок 5).

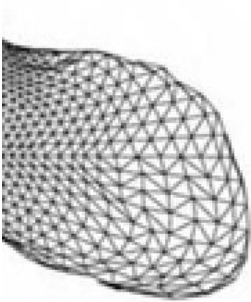


Рис. 5. Фрагмент поверхности космического тела в виде триангуляционной сети

При этом возникают проблемы построения развертки такого тела и его модели. Эта задача ожидает решения в будущем. Развертка нужна в первую очередь для картографов, которые привыкли отражать пространственные тела (в первую очередь поверхность Земли) в виде плоских картографических произведений. Это обусловлено тем, что картографы сотни лет не использовали компьютеры и не привыкли работать с пространственными моделями. Современные возможности вычислительной техники позволяют создавать пространственные трехмерные модели любых объектов, не требуя построения их развертки. Картографический метод исследования – это двухмерный метод исследования трехмерной реальности. Такой подход в современном мире выглядит анахронизмом. Он уступает современным методам построения трехмерной реальности, виртуальной реальности и дополненной реальности. Функции визуальной репрезентации космических объектов выполняет фотограмметрический метод наблюдений. Например, космические изображения спутника Марса Фобоса с «Викинг Орбитер» были получены в течение нескольких сеансов съемки на расстоянии около 5000 км. Снимки позволили также определить сеть пространственных точек поверхности спутника стереоскопически (Duxbury, Callaghan, 1989). На Рисунке 6 приведено фото Фобоса.

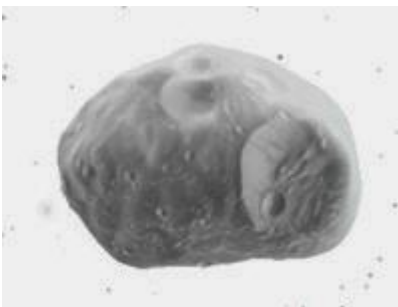


Рис. 6. Фото спутника Марса Фобоса

Данный метод является аналогом, описанного в настоящей статье. По результатам пространственного анализа был вычислен средний радиус Фобоса, который составил $11,03 \pm 0,1$ км и его объём 5621 ± 154 км³ (Duxbury, Callaghan, 1989). Использование методики применения эталонных тел для аппроксимации пространственных тел позволяет проводить построение пространственных моделей космических тел, одна из которых приведена на Рисунке 7.

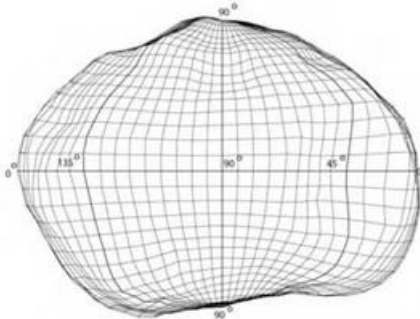


Рис. 7. Вид полумодели спутника Марса Фобоса (Nyrtsov et al., 2000)

Такой подход есть упрощение реальной фигуры путем сведения ее к эталонной. Как визуальная модель она имеет право на существование, но как реальность содержит существенные геометрические ошибки. Эти ошибки тем значимее, чем больше реальная форма космического тела отличается от геометрически правильной формы или комбинации таких правильных форм.

3. Заключение

Сущность подхода данной работе основана на создании внутренней системы координат и привязке ее к внешней системе координат на основе баллистических измерений. Существуют два подхода к построению моделей поверхностей космических тел. Первый подход основан на картографическом методе, в основе которого положен выбор эталонной фигуры, эталонной развертки и последующее построение картографической модели поверхности тела. Другой подход основан на построении геодезической сети на поверхности тела как пространственной реальности. Изложенный в данной статье метод использует второй подход и практически дает строить геодезические фотограмметрические сети на поверхности любого космического тела. Он имеет преимущество при изучении динамики и движения космических тел, так как задает реальные, а не редуцированные параметры тела. Он позволяет формировать более точные модели фигур космических тел особенно в аспекте расчета их центра масс. Точные модели фигур космических тел, сближающихся с Землей, позволяют оценивать динамику их движения и выполнять анализ опасности столкновения этих тел с Землей (Tsvetkov, 2016; Shustov, 2010; Shustov, 2019). Модели фигур космических тел могут быть получены фотограмметрическими наблюдениями и измерениями с помощью разных методов, один из которых предложен в настоящей статье. Метод описанный в данной статье является альтернативой классической фотограмметрии. Классическая фотограмметрия не работает с не копланарными моделями. Информация о форме космического тела используется для исследования распределения гравитации. Она также позволяет проводить исследование эффектов столкновений (Nicolls, McKnight, 2019) в различных режимах состояния вращения. Фотограмметрические исследования космического тела позволяют определить множество его характеристик. Для решения поставленной задачи применено новое решение прямой пространственной засечки.

Литература

Бармин и др., 2013 – Бармин И.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Дистанционный метод определения координат точек на поверхности планеты // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2013. 3: 26-29.

- Бугаевский, Портнов, 1984 – Бугаевский Л.М., Портнов А.М. Теория одиночных космических снимков. Москва. Недра, 1984. 280 с.
- Савиных, Цветков, 2001 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования, Москва, Картоцентр-Геодезиздат, 2001. 224 с.
- Урмаев, 1989 – Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия: учебник для вузов. Москва, Недра, 1989. 279 с.
- Цветков, Хлебникова, 1987 – Цветков В.Я., Хлебникова Т.А. Исследование прямой фотограмметрической засечки // *Геодезия и картография*. 1987. 2: 48-51.
- Яшкин, 2014 – Яшкин С.Н. Небесная механика: учебное пособие. М.: Изд-во МИИГАиК, 2014.
- Barmin et al., 2014 – Barmin I.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. 2014. Vol. 48 (7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.
- Calonico et al., 2019 – Calonico D., Clivati C., Mura A., Levi F., de Cumis M.S., Amato L.S., ... & Maddaloni P. A Coherent Fibre Link for Space Geodesy. In *2019 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium and European Frequency and Time Forum (EFTF/IFC)* (pp. 1-2). IEEE, 2019.
- Duxbury, Callaghan, 1989 – Duxbury T.C., Callaghan J.D. Phobos and Deimos control networks // *Icarus* 77. 1989. Pp. 275-286.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Triadic comparative analysis *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Special Issue*. 2020. No. 10, June, 745-754. DOI: <https://doi.org/10.26782/jmcs.spl.10/2020.06.00047>
- Manned Mission to Mars, 2006 – Manned Mission to Mars. Edited by A.S. Koroteev. М.: Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, 2006. 320 p.
- Nyrtsov et al., 2000 – Nyrtsov M.V., Bugaevskiy L.M. Shingareva K.B. (2000). Mathematical. Basis for non-spherical celestial bodies maps // *Journal of Geospatial Science and Engineering, Hong Kong*. Vol. 2, № 2, pp. 45-50.
- Oznamets, Tsvetkov, 2019 – Oznamets V.V. Tsvetkov V.Ya. Space Geodesy of Small Celestial Bodies // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2019. 5(1): 30-40.
- Shustov, 2010 – Shustov B.M. On coordinated approach to the problem of asteroid-comet impact hazard // *Cosmic Research*, 2010. 48(5): 378-391.
- Shustov, 2019 – Shustov B.M. The Role of Science in the Study and Prevention of Space Hazards // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. 89(4): 311-324.
- Tsvetkov, 2011 – Tsvetkov V.Ya. Principles of measurement of surfaces of extra-terrestrial territories // *International journal of applied and fundamental research*. 2011. 10: 14.
- Tsvetkov, 2016 – Tsvetkov V.Ya. The Problem of Asteroid-Comet Danger // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2016. 1 (2): 33-40.
- Tsvetkov, 2017 – Tsvetkov V.Ya. Application of Monte Carlo Method for Calculation of the Comets' Area by the Photographic Pictures // *Modeling of Artificial Intelligence*. 2017. 4(2): 96-101.
- Tsvetkov, 2018 – Tsvetkov V.Ya. The Development of the Direction "Comparative Planetology" // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 34-41.

References

- Barmin et al., 2014 – Barmin I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. Vol. 48 (7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028
- Barmin i dr., 2013 – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Distantionnyi metod opredeleniya koordinat toчек na poverkhnosti planety [Remote method for determining the coordinates of points on the planet's surface]. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*. 3: 26-29. [in Russian]
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

- Bugaevskii, Portnov, 1984 – Bugaevskii, L.M., Portnov, A.M. (1984). Teoriya odinochnykh kosmicheskikh snimkov [The theory of single satellite images.]. Moskva, Nedra, 280 p. [in Russian]
- Calonico et al., 2019 – Calonico, D., Clivati, C., Mura, A., Levi, F., de Cumis, M. S., Amato, L. S., ... & Maddaloni, P. (2019, April). A Coherent Fibre Link for Space Geodesy. *2019 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium and European Frequency and Time Forum (EFTF/IFC)* (pp. 1-2). IEEE.
- Duxbury, Callaghan, 1989 – Duxbury, T.C., Callaghan, J.D. (1989). Phobos and Deimos control networks. *Icarus* 77, 275-286.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 4(1): 9-33.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh, S.A., Tsvetkov, V.Ya. (2020). Triadic comparative analysis *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Special Issue.* No. 10, June, 745-754. DOI: <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00047>
- Manned Mission to Mars, 2006 – Manned Mission to Mars. Edited by A.S. Koroteev. M.: Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky, 320 p.
- Nyrtsov et al., 2000 – Nyrtsov M.V., Bugaevskiy, L.M., Shingareva, K.B. (2000). Mathematical. Basis for non-spherical celestial bodies maps. *Journal of Geospatial Science and Engineering, Hong Kong.* Vol. 2, № 2. Pp. 45-50.
- Oznamets, Tsvetkov, 2019 – Oznamets, V.V., Tsvetkov, V.Ya. (2019). Space Geodesy of Small Celestial Bodies. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 5(1): 30-40.
- Savinykh, Tsvetkov, 2001 – Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. Moskva, Kartotsentr-Geodezizdat, 224 p. [in Russian]
- Shustov, 2010 – Shustov, B.M. (2010). On coordinated approach to the problem of asteroid-comet impact hazard. *Cosmic Research.* 48(5): 378-391.
- Shustov, 2019 – Shustov, B.M. (2019). The Role of Science in the Study and Prevention of Space Hazards. *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 89(4): 311-324.
- Tsvetkov, 2011 – Tsvetkov, V.Ya. (2011). Principles of measurement of surfaces of extra-terrestrial territories. *International journal of applied and fundamental research.* 10: 14.
- Tsvetkov, 2016 – Tsvetkov, V.Ya. (2016). The Problem of Asteroid-Comet Danger. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 1 (2): 33-40.
- Tsvetkov, 2017 – Tsvetkov, V.Ya. (2017). Application of Monte Carlo Method for Calculation of the Comets' Area by the Photographic Pictures. *Modeling of Artificial Intelligence.* 4(2): 96-101.
- Tsvetkov, Khlebnikova, 1987 – Tsvetkov, V.Ya., Khlebnikova, T.A. (1987). Issledovanie pryamoi fotogrammetricheskoi zasechki [Research of direct photogrammetric intersection]. *Geodeziya i kartografiya.* 2: 48-51. [in Russian]
- Tsvetkov. 2018 – Tsvetkov, V.Ya. (2018). The Development of the Direction "Comparative Planetology". *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 4(1): 34-41.
- Urmaev, 1989 – Urmaev, M.S. (1989). Kosmicheskaya fotogrammetriya [Space photogrammetry]: uchebnyk dlya vuzov. Moskva, Nedra, 279 p. [in Russian]
- Yashkin, 2014 – Yashkin, S.N. (2014). Nebesnaya mekhanika [Celestial mechanics]: uchebnoe posobie. M.: Izd-vo MIIGAiK. [in Russian]

Определения координат точек на поверхности космического тела

Сергей Владимирович Шайтура ^{a, b, c, d, e, *}

^a Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация

^b Международная академия информатизации, Российская Федерация

^c Российская академия космонавтики им. Э.К. Циолковского, Российская Федерация

^d Международная академия наук педагогического образования, Российская Федерация

^e Институт гуманитарных наук, экономики и информационных технологий, Бургас, Болгария

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: swshaytura@gmail.com (С.В. Шайтура)

Аннотация. Статья вводит обобщенное понятие космическое тело. Это понятие включает: планеты, спутники планет, астероиды, кометы, малые небесные тела. Метод использует внутреннюю и внешнюю системы координат. Статья исследует метод и алгоритм определения координат точек на поверхности космического тела. Съемка осуществляется с борта космического аппарата, движущегося мимо космического тела. Траектория космического аппарата считается плоской и не возмущенной. Поворот камеры обеспечивает создание зоны перекрытия для пары фотоснимков и переход из внутренней системы координат к внешней. Определение координат точек на поверхности космического тела осуществляется по фотоснимкам с перекрывающимися зонами наблюдения. Для решения задачи необходимо инерциальное определение координат траектории космического аппарата и поворот камеры на известный угол. Решение прямой фотограмметрической засечки осуществляется под условием равенства масштабов. Допускается некомпланарность векторов, определяющих положение точки на поверхности и космического тела. Метод применим для определения координат точек на поверхности любых космических тел.

Ключевые слова: космическое тело, координаты точек поверхности, орбита, космический аппарат, фотосъемка, прямая засечка.

Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2020, 6(1): 46-52

DOI: 10.13187/rjar.2020.1.46
www.ejournal28.com



Planetary Altimetry

Viktor Ya. Tsvetkov ^{a,*}

^a Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article describes a method for determining the coordinates of points on the planet's surface if there is a laser altimeter and a photogrammetric system on board the spacecraft. Both devices are linked and coordinated in the spacecraft system. There is a possibility of converting the ranges of the laser altimeter into a photogrammetric coordinate system associated with the front nodal point of the camera. The altimeter marks points on the planet's surface. These points are recorded by the photogrammetric system in the image. Measurements of the coordinates of the points of the images make it possible to determine the spatial configuration of points on the planet's surface in real scale. Spatial configuration is analogous to a hanging geodetic network. An estimate is given of the errors caused by the movement of the spacecraft relative to the planet. The field of application of the method in terrestrial conditions is described.

Keywords: space research, planetology, determination of coordinates, altimeter, photogrammetric survey, planet surface, spatial configuration.

1. Введение

В настоящее время планетология и сравнительная планетология являются основой изучения поверхностей планет. Планетология основана на использовании методов дистанционного зондирования, которые апробировали себя в земных и околоземных (Barmin et al., 2014) условиях. При использовании космических снимков поверхностей планет используют проверенные методы геодезии и фотограмметрии. Если есть возможность, то применяют методы космической геоинформатики (Bondur, Tsvetkov, 2015; Савиных, 2016).

Планетологические исследования (Tsvetkov, 2018) и планетологические измерения (Bean, 2017) не имеют возможности прямых измерений. Все измерения в планетологии являются косвенными и опосредованными. Статья исследует ситуацию измерений поверхности планеты или иного космического тела с борта космического аппарата, на котором имеется лазерный альтиметр и фотограмметрическая установка для съемки поверхности. Предлагается методика расчета точек поверхности и методика учета поправок за счет движения космического аппарата относительно космического тела. Методика применима для оценки поверхности любого твердого космического тела, например, астероида. Первоначально основой планетологии, которая фактически осуществлялась с Земли, были оптические наблюдения (Turcotte, 1996). Сфера её исследования включает в себя разные объекты, от микрометеоритов до газовых гигантов. Планетология изучает

* Corresponding author
 E-mail addresses: cvj2@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov)

физические свойства, химический состав, строение поверхности, внутренних и внешних оболочек планет и их спутников, а также условия их формирования и развития

Пространственное моделирование поверхности

Пространственное моделирование поверхности (Poole et al., 2004) большинства тел основано на трехмерных измерениях, построении первичных трехмерных моделей (которые называют цифровыми моделями), проведение дихотомического анализа, совмещенного со структурным анализом, применении аналитического моделирования и визуализации модели если это необходимо. Данные о поверхности могут быть представлены в виде множества точек с трехмерными координатами x, y, z . Такое множество точек с их координатами называют первичной или точечной цифровой моделью поверхности (Цветков, 2016). Такая модель может быть сформирована для любой планеты при возможности измерения координат ее точек.

Каждую точку поверхности планеты невозможно и нецелесообразно передать в модель. Поэтому используют вторичные цифровые модели поверхности (ЦМП), которые не только содержат отдельные точки, но и включают информацию о связях и пространственных отношениях между точками вторичной модели. Совокупности точек вторичной модели позволяют восстанавливать всю поверхность. Отсюда вытекает главная задача ЦМП – использовать минимальное число точек для точного построения поверхности планеты. Основная трудность при аналитическом построении ЦМП возникает при построении нерегулярной поверхности которая имеет разрывы или скачки производных. Математические модели, как правило, описывают гладкую поверхность. Поэтому часто цифровую пространственную модель поверхности строят из совокупностей разных кусков поверхности, стыкующихся на определенных линиях или в определенных точках. На Рисунке 1 показан фрагмент (Дышленко, 2014) пространственная модель в районе черноморского побережья.

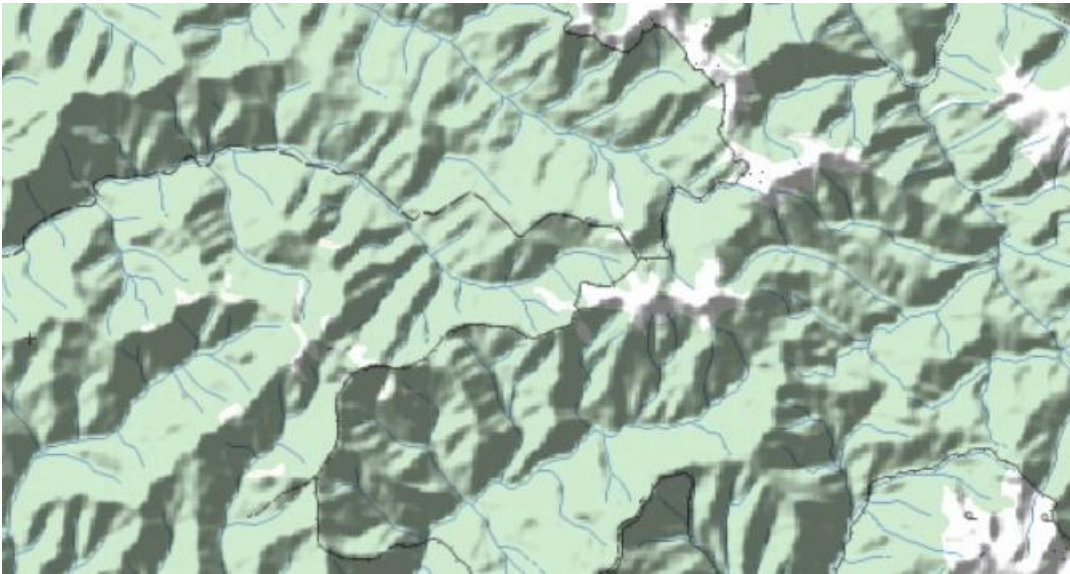


Рис. 1. Пространственная модель нерегулярной поверхности построенная по стыкующимся линиям и точкам (Дышленко, 2014)

При достаточно большом количестве точек, модель поверхности точно отражает ее форму. Упрощенная модель поверхности строится с помощью покрытия треугольниками, наложенными на точки с трехмерными координатами. Если на поверхности планеты определены положения множества точек, то путём моделирования пространственных треугольников между точками можно создать модель поверхности планеты. Метод построения тринитарной системы на поверхности планеты является планетарной триангуляцией и имеет аналог в земных условиях – наземную триангуляцией. Тринитарная модель (Kudzh, Tsvetkov, 2020) или триангуляционная модель поверхности является

устойчивой и хорошо аппроксимирует поверхность не требуя использования эллипсоидальной модели планеты, как это делается на Земле. Тринитарная модель может быть рассмотрена как планетарная геодезическая сеть, аналогом которой на Земле являются геодезические наземные сети.

Методика нахождения координат точек поверхности планеты.

Использование опыта исследования Земли с помощью аэрофотосъемки и космической съемки перенесено в настоящее время на исследование небесных тел с помощью космических аппаратов. Существуют разные методы определения координат на поверхности планет. Основной метод состоит в использовании данных траектории космического аппарата как базиса съемки (Barmin et al., 2014) и решение прямой фотограмметрической засечки. В данной работе предлагается новый подход с использованием лазерного альтиметра и фотосъемки. На Рисунке 2 приведена схема нахождения точек поверхности планеты с борта космического аппарата

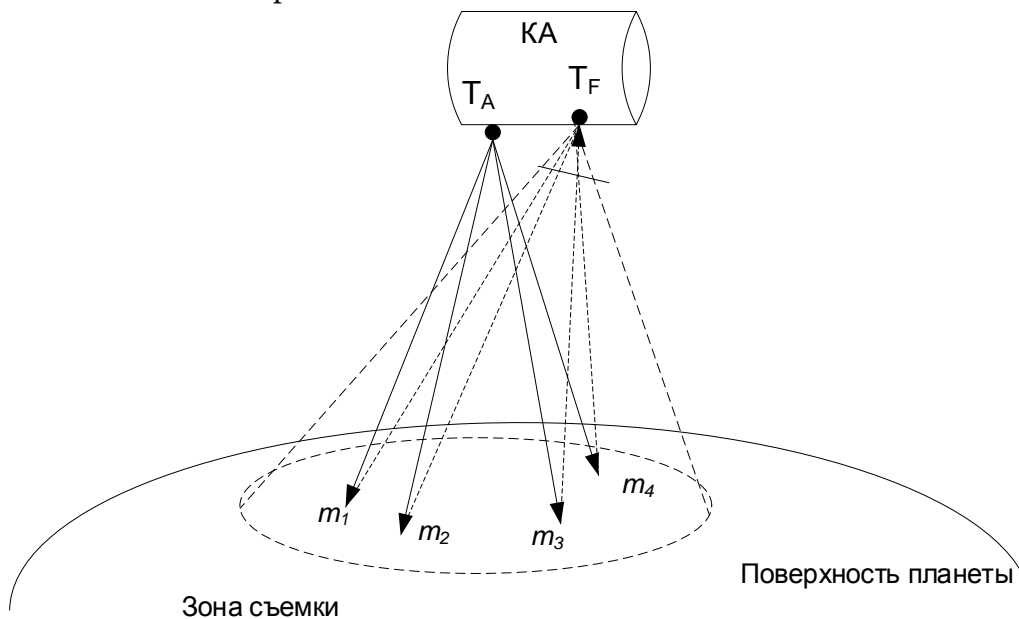


Рис. 2. Нахождение координат точек поверхности планеты с помощью альтиметра и фотограмметрической системы.

На Рисунке 2 показан космический аппарат (КА), на борту которого установлен альтиметр и фотограмметрическая система. Лазерный альтиметр направляет лазерный луч на поверхность планеты и маркирует точки поверхности в зона съемки фотограмметрической аппаратуры. Это точки m_1, m_2, m_3, m_4 . Количество маркируемых точек ограничено временем экспозиции снимка для фотограмметрической аппаратуры. Точка излучения альтиметра обозначена как T_A . Передняя узловая точка фотограмметрической системы обозначена как T_F . Расстояния до маркируемых точек $T_A - m_i$ определяются с помощью лазерного альтиметра как измерителя расстояния. Обе точки жестко связаны между собой во внутренней координатной системе КА. Это создает возможность пересчета длин по отношению к точке T_F .

Таким образом в фотограмметрической системе известны расстояния до маркированных точек. Каждой маркированной точке можно поставить в соответствие измеряемое расстояние

$$L_i = T_F - m_i$$

Каждая маркированная точка имеет изображение на снимке $m^*(x, y)$. Изображению маркированной точке снимка можно поставить в соответствие вычисляемое расстояние

$$l_i = \sqrt{(x^2 + y^2 + f^2)}$$

В этом выражении x, y – координаты точки на снимке, f – фокусное расстояние камеры. Отношение

$$K_i = L_i / l_i$$

Задаёт частный масштаб для каждой точки. Координатам точек снимка (x, y) соответствуют координаты точек поверхности планеты (X, Y) . В системе координат фотограмметрической аппаратуры или в фотограмметрической системе координат. Координаты точек поверхности планеты определяются с использованием частного масштаба для маркированной точки

$$X_i = x_i K_i$$

$$Y_i = y_i K_i$$

Координата Z определяется как

$$Z_i = \sqrt{(L_i - X_i^2 - Y_i^2)}$$

Координаты X, Y, Z – координаты во внешней системе координат, которая ориентирована осью Z по направлению главной оптической оси фотокамеры, а две другие оси параллельны осям координат на снимке. Таким образом эта система координат в реальном масштабе но ориентирована относительно координатной системы КА.

С помощью такого несложного алгоритма определяются все координаты маркированных точек на поверхности планеты в фотограмметрической системе координат T_F . Для каждого сеанса съёмки определяется своя группа маркированных точек. Координаты точки T_F для каждого сеанса определяются с помощью инерциального устройства или с помощью известного уравнения траектории, которую на относительно малом расстоянии можно считать не возмущённой.

Оценка влияния перемещения космического аппарата

На рис.2 приведена модель, для которой длина пути лазерного луча в прямом и обратном направлении считается одинаковой. Для неподвижных объектов это имеет место всегда. Но при движении космического аппарата возможны ситуации, когда длина этих путей становится разной. На рисунке 3 приведена ситуация, показывающая влияние движения космического аппарата на расхождение длин падающего и отраженного лучей.

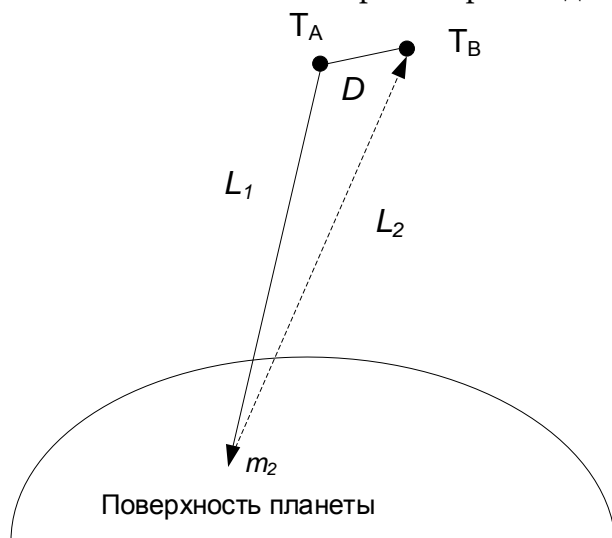


Рис. 3. Влияние движения космического аппарата на расхождение длин падающего и отраженного лучей.

На **Рисунке 3** точка T_A соответствует отправке луча на поверхность планеты. Длина L_1 соответствует расстоянию падающего луча из точки T_A в точку m_2 . Длина L_2 соответствует расстоянию отраженного луча из точки m_2 в точку T_B . За время прохождения луча космический аппарат смещается из точки T_A в точку T_B на расстояние D . Возникает задача при каких условиях влияние надо учитывать D . Эту задачу можно решить методом

оценивания. Полагаем скорость КА есть v вторая космическая скорость 11 км/сек. Скорость свет обозначим $c=300\ 000$ км/сек. За время падения луча КА переместится на расстояние D_1

$$D_1 = v/c L_1$$

За время отражения луча КА переместится примерно на расстояние D_2

$$D_2 = v/c L_2$$

Для точного определения L_2 величины необходимо решение дифференциального уравнения. Но для оценочных значений можно задать приближенную величину. Величина $v/c = 3,66667 \cdot 10^{-5}$

При съемке с расстояния 3000 км от поверхности планеты смещение КА составит около 220 м. При съемке с расстояния 30000 км от поверхности планеты смещение составит более 2.2 км. Относительная ошибка невелика. Но при этом возникает другая ошибка – рост пятна отраженного луча. На [Рисунках 2, 3](#) предполагается, что на поверхности планеты точечный объект. На самом деле это пятно, которое имеет размеры и задает погрешность измерений на снимке. Поэтому данный метод имеет ограничение по размеру пятен маркировочных точек.

3. Заключение

Описанный метод формирует новое пространственное знание ([Savinych, 2016](#)). Предложенный метод позволяет за сеанс съемки сформировать ограниченное количество точек на поверхности планеты и получить их пространственную конфигурацию в условной системе координат. С геодезической точки зрения такой метод формирует висячую пространственную сеть. С фотограмметрической точки зрения метод формирует пространственную модель в условной системе координат, напоминающую фотограмметрическую модель, получаемую при взаимном ориентировании. Различие в том, что при взаимном ориентировании модель имеет произвольный масштаб и ориентацию. В данном случае модель строится в реальном масштабе и ее надо только ориентировать к системе координат планеты. Поэтому более правильно назвать такую модель пространственной конфигурацией поверхности планеты. Для привязки этой конфигурации к поверхности планеты необходимо иметь твердую точку на планете, к которой можно привязать пространственную конфигурацию. При использовании спутников и возможности замкнуть совокупность конфигураций такой метод позволяет задавать пространственное положение поверхности и объектов на поверхности. В земных условиях при использовании ИСЗ такой метод при разовой съемке позволяет выявлять новые объекты, например разливы нефти или появление новых объектов, корабле и сооружений.

Литература

- [Дышленко, 2014](#) – Дышленко С.Г. Трехмерное моделирование в ГИС // *Перспективы науки и образования*. 2014. 2: 28-33.
- [Савиных, 2016](#) – Савиных В.П. Развитие космической геоинформатики // *Славянский форум*. 2016. 2(12): 223-230.
- [Цветков, 2016](#) - Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели. // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. 4-2: 348-351.
- [Barmin et al., 2014](#) – Barmin I.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface // *Solar System Research*. 2014. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028
- [Barmin et al., 2014](#) – Barmin I.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface // *Solar System Research*. 2014. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028
- [Bean, 2017](#) – Bean J.L., Abbot D.S., Kempton E.M.R. A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system // *The Astrophysical Journal Letters*. 2017. 841(2): L24.
- [Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

[Kudzh, Tsvetkov, 2020](#) – Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Triadic comparative analysis // *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Special Issue*. 2020. 10, June, 745-754. DOI: <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00047>

[Poole et al., 2004](#) – Poole G.C., Stanford J.A., Running S.W., Frissell C.A., Woessner W.W., Ellis B.K. A patch hierarchy approach to modeling surface and subsurface hydrology in complex flood-plain environments // *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*. 2004. 29(10): 1259-1274.

[Savinych, 2016](#) – Savinych V.P. On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2016. 2(1): 23-32.

[Tsvetkov, 2018](#) – Tsvetkov V.Ya. The Development of the Direction "Comparative Planetology" // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 34-41.

[Turcotte, 1996](#) – Turcotte D.L. Magellan and comparative planetology // *Journal of Geophysical Research: Planets*. 1996. 101(E2): 4765-4773.

References

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Kulagin, V.P., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Near Earth Space as an Object of Global Monitoring. *Solar System Research*. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

[Bean, 2017](#) – Bean, J.L., Abbot, D.S., Kempton, E.M.R. (2017). A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system. *The Astrophysical Journal Letters*. 841(2): L24.

[Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

[Dyshlenko, 2014](#) – Dyshlenko, S.G. (2014). Trekhmernoe modelirovanie v GIS [Three-dimensional modeling in GIS]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 2: 28-33.

[Kudzh, Tsvetkov, 2020](#) – Kudzh, S.A., Tsvetkov, V.Ya. (2020). Triadic comparative analysis *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences. Special Issue*. 10, June, 745-754. DOI: <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00047>

[Poole et al., 2004](#) – Poole, G.C., Stanford, J.A., Running, S.W., Frissell, C.A., Woessner, W.W., Ellis, B.K. (2004). A patch hierarchy approach to modeling surface and subsurface hydrology in complex flood-plain environments. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*. 29(10): 1259-1274.

[Savinych, 2016](#) – Savinych, V.P. (2016). On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2(1): 23-32.

[Savinyh, 2016](#) – Savinyh V.P. (2016). Razvitie kosmicheskoy geoinformatiki [Development of space geoinformatics]. *Slavyanskij forum*. 2(12): 223-230. [in Russian]

[Tsvetkov, 2016](#) – Tsvetkov V.Ya. (2016). Tsifrovye karty i tsifrovye modeli [Digital maps and digital models]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 4-2: 348-351. [in Russian]

[Tsvetkov, 2018](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2018). The Development of the Direction "Comparative Planetology". *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 34-41.

[Turcotte, 1996](#) – Turcotte, D.L. (1996). Magellan and comparative planetology. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 101(E2): 4765-4773.

Планетная альтиметрия

Виктор Яковлевич Цветков ^{a, *}

^a Научно-исследовательский и проектно конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья описывает метод определения координат точек поверхности планеты при наличии на борту космического аппарата лазерного альтиметра и фотограмметрической системы. Оба устройства связаны и координированы в системе космического аппарата. Существует возможность пересчет дальностей лазерного альтиметра в фотограмметрическую систему координат. Связанную с передней узловой точкой фотокамеры. Альтиметр маркирует точки на поверхности планеты. Эти точки фиксирует фотограмметрическая система на снимок. По измерениям координат точек снимков определяется пространственная конфигурация точек в реальном масштабе. Эту конфигурацию можно рассматривать как висячую геодезическую сеть. Дается оценка погрешностей обусловленная перемещением космического аппарата относительно планеты. Описана область применения метода в земных условиях.

Ключевые слова: космические исследования, планетология, определение координат, альтиметр, фотограмметрическая съемка, поверхность планеты, пространственная конфигурация.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: cvj2@mail.ru (В.Я. Цветков)