



---

# Russian Journal Astrophysical Research. Series A

---

Has been issued since 2015.  
E-ISSN: 2413-7499  
2022. 8(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: 1717 N Street NW, Suite 1,  
Washington, District of Columbia 20036

Release date 22.03.2022  
Format 21 × 29,7/4.

Website: <https://rjar.cherkasgu.press>  
E-mail: [office@cherkasgu.press](mailto:office@cherkasgu.press)

Headset Georgia.

Founder and Editor: Cherkas Global University  
Order № RJAP-8.

© Russian Journal of Astrophysical Research. Series A, 2022

**Russian Journal of Astrophysical Research. Series A**

**2022**

**Is. 1**

## CONTENTS

**Articles**

Evolution of Geodetic Astronomy G.S. Gospodinov .....	3
Development of Space Monitoring S.A. Kudzh .....	12
Gravitational Constant under the Strong Electromagnetic Field T. Musha .....	23
Actio Libera in Causa – as a Frontier between Empirical and Normative Dimensions S. Qobalia .....	28
Study of the "Earth-Moon" System V.P. Savinych .....	32
Stroboscopic Shooting of Comets V.Ya. Tsvetkov, I.P. Deshko .....	40
Determination of Relative Coordinates based on Rangefinder Measurements from the Spacecraft V.Ya. Tsvetkov .....	48

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 3-11

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.3  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Articles

### Evolution of Geodetic Astronomy

Gospodinov Slaveyko Gospodinov <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria

#### Abstract

The article analyzes the evolution of geodetic astronomy over the past 120 years. Initially, it was formed on the basis of the transfer of measurement methods and information processing from geodesy to the field of astronomy. Currently, geodetic astronomy is closely related to space geoinformatics, comparative planetology and space geodesy. Currently, comparative planetary science has begun to use more measuring methods and methods of comparative analysis. Measuring and comparison methods link geodetic astronomy and comparative planetary science. Advanced methods of geodetic measurements link space geodesy and geodetic astronomy. The principles of technology integration and data integration from space geoinformatics have been transferred to the field of geodetic astronomy. Common to space geodesy, space geoinformatics, comparative planetology and geodetic astronomy is the trend towards using angular measurements and a small number of linear measurements. Common to these sciences is the study of spatial relationships on Earth and in space. What they have in common is the use of advances in computing technology to process observations and measurements. There were described four celestial spheres, which are used in geodetic astronomy. The basic coordinate systems used in geodetic astronomy are described. Methods for ensuring the uniformity of time measurements in geodetic astronomy are described. The article reveals the content of geodetic astronomy through the main directions of its application. The features of astronomical definitions characteristic of geodetic astronomy are described. The evolution of geodesic astronomy has led to the fact that its modern content is significantly different from its original content.

**Keywords:** astronomy, geodetic astronomy, geoinformatics, space geoinformatics, astronomical coordinates, geodetic coordinates.

#### 1. Введение

Геодезическая астрономия возникла как самостоятельная наука (Hayford, 1910). Ее особенностью был перенос методов геодезии в область астрономии. В настоящее время геодезическая астрономия находится в тесной взаимосвязи с космической геоинформатикой, сравнительной планетологией и космической геодезией. Появление космической геодезии (Глушков и др., 2002) и развитие сравнительной планетологии повлияли на содержание геодезической астрономии. Сравнительная планетология первоначально опиралась на земные геологические методы, которые переносились на

\* Corresponding author  
 E-mail addresses: [sgospodinov@mail.bg](mailto:sgospodinov@mail.bg) (G.S. Gospodinov)

изучение других планет. В настоящее время сравнительная планетология (Tsvetkov, 2018) стала использовать больше измерительные методы и методы сравнительного анализа (Кудж, 2019) в своих исследованиях. Измерительные методы и методы сравнения связывают геодезическую астрономию и сравнительную планетологию. Космическая геодезия возникла как самостоятельная наука для удовлетворения информационной потребности по лучшему изучению небесной механики и совершенствованию геодезических методов с использованием динамики, а также по применению методов баллистики для геодезических расчетов. Расширенные методы геодезических измерений связывают космическую геодезию и геодезическую астрономию. Космическая геоинформатика (Bondur, Tsvetkov, 2015) является самой молодой среди перечисленных четырех наук. Ее принципы интеграция технологий и интеграция данных были перенесены в область геодезической астрономии. В настоящее время многие методы обработки информации в геодезической астрономии используют геоинформационный подход (Rozenberg, Tsvetkov, 2009). Можно констатировать, что эволюция геодезической астрономии (Hoskinson, Duerksen, 1947; Korakitis, 2002; Hirt, Burki, 2006; Пандул, 2010) привела к тому, что содержание современной геодезической астрономии существенно отличается от ее первоначального содержания и толкования. Это требует ее углубленного анализа и изучения. Общим для космической геодезии, космической геоинформатики, сравнительной планетологии (Tsvetkov, 2018) и геодезической астрономии является тенденция к использованию угловых измерений и незначительного количества линейных измерений. Общим для космической геоинформатики, геодинамики и геодезической астрономии является измерение деформаций земной коры, посредством пространственных измерений (Господинов, 2011).

Фундаментальное значение геодезической астрономии, астрономии и космической геоинформатики состоит в исследовании мирового пространства и исследовании закономерностей развития вселенной и связанных с ними закономерностей развития земной цивилизации. Прикладное значение геодезической астрономии связано с навигацией. В условиях глобализации общества ее методы стали применять для глобальной навигации, в первую очередь, для управления транспортом (Lyovin, 2017).

Развитие радиотехники привело к появлению нового направления в астрономии радиоастрономии (Kraus, 1966). Это направление применяют и геодезической астрономии. Достаточно долго основной системой координат для земных наук была астрономическая система координат. С выявлением отклонения формы фигуры Земли от сферической формы возникла геодезическая система координат. Она стала применяться на поверхности Земли как более точная при определении местоположения объектов. Применение двух систем координат поставило проблемы связи между геодезической и астрономической системами координат и проблему трансформации координат между этими системами. Особую актуализацию этой трансформации придает проблема астероидно-кометной опасности (Tsvetkov, 2016a). Траектории особо опасных объектов рассчитывают первоначально в гелиоцентрической системе координат, затем в геоцентрической (астрономической) системе координат. По мере приближения к Земле возникает проблема оценки попадания небесного тела в точку земной поверхности. Приближение опасных объектов к Земле требует пересчета траектории небесного тела в геодезическую систему координат. Это обуславливает тесную связь геодезической астрономии и обычной геодезии и мотивирует развитие геодезической астрономии (Gospodinov, 2018) этом направлении. Интеграция геодезических измерений с астрономическими измерениями делает актуальными исследования в области интеграции геодезической астрономии с другими науками.

## 2. Обсуждение и результаты

**Современное содержание геодезической астрономии.** Содержательно геодезическая астрономия включает (Господинов, Джордова, 2011) ряд основных разделов, определяющих ее основу:

Пространственная геометрия, включая геометрию Евклида и Римана (Болбаков, 2021).

Механика объектов небесной сферы

Основы пространственной логики (Тягунов, Цветков, 2021).

Основы угловых измерений в космосе (Савиных, 2021; Цветков 2021).

Теорию координатных систем (Розенберг, Цветков, 2009).

Теорию измерения времени (Robbins, 1967).

Методы астрометрии.

Методы космического мониторинга.

Информационные системы по космической тематике (Савиных, 2019) и другие.

В соответствии с методикой координирования и методикой космического мониторинга при пространственных наблюдениях выбирают область наблюдения или поле наблюдения. В зависимости от области наблюдения в геодезических исследованиях выбирают не только системы координат, но и базовую небесную сферу. Выбор базовой небесной сферы является отличительной особенностью геодезической астрономии. Таких сфер в геодезической астрономии четыре. Первая топоцентрическая сфера.

В геодезической астрономии центр топоцентрической небесной сферы находится на поверхности Земли. Эта координатная система важна для исследования астероидной опасности применительно к точке соприкосновения с Землей.

Вторая важная сфера по мере приближения к Земле – геоцентрическая. Для этой небесной сферы начало координат совпадает с центром масс Земли. Эта координатная система важна для подлунного и залунного пространства. Залунное пространство (Barmin et al., 2014) исследуется редко, но с позиции астероидной опасности оно представляет большую важность. Две другие небесные сферы гелиоцентрическая (геометрическая) барицентрическая (гравитационная) связаны с Солнцем. Они различаются тем, что для гелиоцентрической центр сферы совмещен с центром Солнца, для барицентрической центр сферы совмещен с центром тяжести Солнечной системы.

Для координирования при использовании сферической системы координат принято в этой системе выбирать два взаимно перпендикулярных круга, задающих астрономическую широту ( $\varphi$ ), и астрономическую долготу ( $\lambda$ ). Широту  $\varphi$  определяют по между плоскостью экватора и направлением линии из данной точки (М) в центр координат. В зависимости от расположения кругов выбирают системы координат, которые различают в геодезической астрономии и задают специальную систему координат. К числу таких специальных систем координат относят: горизонтальную систему координат; экваториальные системы координат; эклиптическую систему координат.

В координатных системах геодезической астрономии базовыми параметрами являются широта, долгота и астрономический азимут направления (А).

Астрономическая долгота  $\lambda$  – определяется по двугранному углу между плоскостями условно начального меридиана и меридиана, проходящего через определяемую точку (М). Величину (А) отсчитывают также по двугранному углу. Этот угол задают две плоскости плоскость астрономического меридиана и плоскость, проходящую через вертикаль из точки (М).

Единство времени важная составляющая измерений в геодезической астрономии. Для этой цели применяют системы звездного времени и солнечного времени. Основой измерения времени во всех научных направлениях является выбор эталона времени. Эталон времени использует стабильную частоту или эталонную частоту. Такой эталонной частотой в геодезической астрономии выбирают частоту вращения Земли вокруг оси. Эта частота является стабильной не имеет ограничений во времени. Многие земные эталоны частоты имеют экспоненциальную тенденцию изменения частоты во времени. Частота земного вращения является стабильной на протяжении существования человечества. Дополнительно применяют системы эфемеридного времени. Дополнительно в геодезической астрометрии применяют квантовые эталоны времени, что обеспечивает создание равномерной временной шкалы.

Астрономические наблюдения и определения имеют свои особенности.

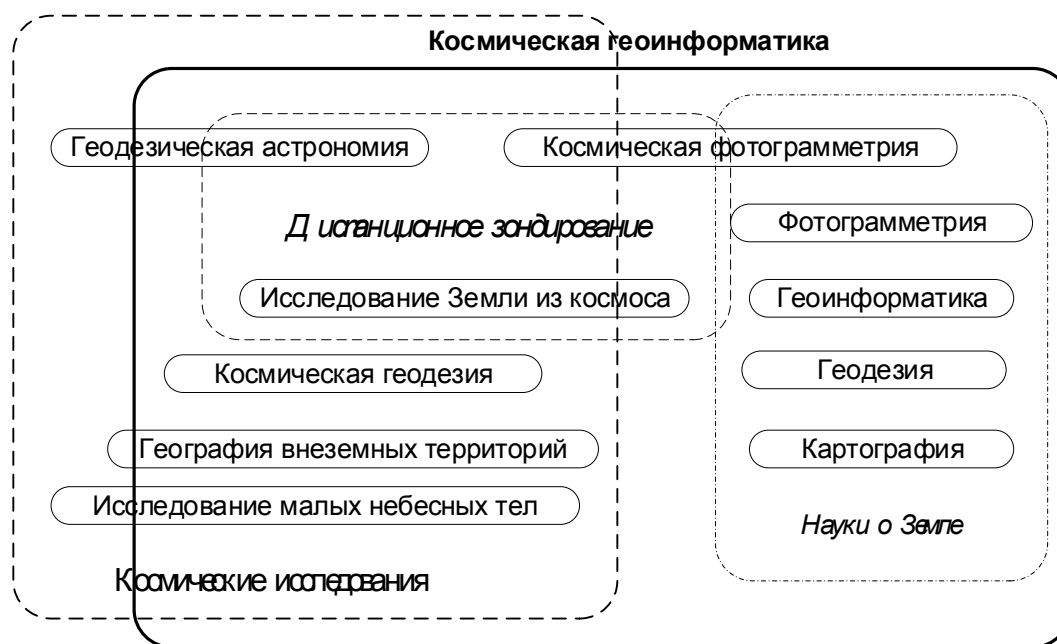
Астрономические наблюдения позволяют с использованием понятия приведенной широты определять связь между геодезической и астрономической системами координат (Ознамец, Цветков, 2018);

Определения азимутов на земные предметы ограничивают случайные и систематические погрешностей угловых измерений;

Астрономические наблюдения в космосе основаны на визуальном инструментальных наблюдениях (Савиных, 2020);

Астрономические угловые измерения разделяют на точные и приближенные. Точные обеспечивают предельную инструментальную точность и минимальную погрешность, приближенные угловые измерения имеют погрешность от 1" до 1'. Точные основаны на расчетах, приближенные на прямых измерениях. Их часто применяют в первую очередь, для индикации.

**Особое отношение геоинформатики и геодезической астрономии.** Общим для обеих наук является то, что они развились из земных наук. Космическая геоинформатика возникла как разновидность наземной информатики. Геодезическая астрономия первоначально возникала как синтез наземной геодезии и астрономии. Геоинформатика (Савиных, Цветков, 2013) и космическая геоинформатика (Bondur, Tsvetkov, 2015) на ее основе развиваются на основе интеграционных принципов объединения различных научных направлений (Савиных, 2015). Космическая геоинформатика использует еще интеграцию данных и интеграцию технологий. В первую очередь надо отметить интеграцию геоинформатики и космической геоинформатики с методами дистанционного зондирования (Савиных, Цветков, 1999). Именно интеграция является наиболее привлекательной для геодезической астрономии (Господинов, Джордова, 2011). В первую очередь геодезическую астрономию привлекает интеграция данных и технологий геоинформатики. Она дает возможность собирать информацию методами геодезической астрономии, а обрабатывать ее методами космической геоинформатики как наиболее сложившаяся исторически наука среди рассмотренных наук. На [Рисунке 1](#) дана структурная схема космической геоинформатики, отражающая ее связь с геодезической астрономией.



**Рис. 1.** Интеграция наук в космической геоинформатике

Космическая геоинформатика полностью включает две области исследования: науки о Земле и Дистанционное зондирование. Космическая геоинформатика частично включает область космических исследований. Многие науки в космической геоинформатике образуют категориальные пары.

Дистанционное зондирование является близким геодезической астрономии и фотограмметрии, особенно воздушной. Исследование Земли из космоса связано с геоинформатикой, прежде всего в части организации данных в геоданные.

Геодезия связана с космической геодезией. Картография связана с географией внеземных территорий. Исследование малых небесных тел представляет собой направление космической геоинформатики и космических исследований.

Верхний уровень космической геоинформатики образуют геодезическая астрономия и космическая фотограмметрия. Причем геодезическая астрономия лишь частично входит в космическую геоинформатику.

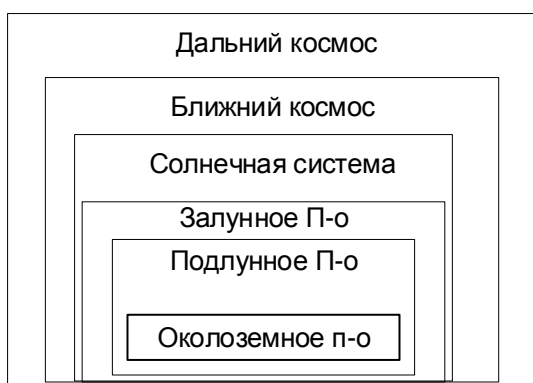
Космическая геоинформатика, как и геодезическая астрономия, обеспечивает на уровне данных сопоставимость и анализ. Но геодезическая астрономия решает задачи связи между астрономией и геодезией. Космическая геоинформатика решает задачи связи для большего числа наук.

Космическая геодезия (Глушков и др., 2002) трансформирует методы геодезии в космические исследования и в геодезическую астрономию. На Рисунке 1 не показана сравнительная планетология (Савиных, Цветков, 2012), частично связана с исследованием малых небесных тел.

На уровне технологий космическая геоинформатика и геодезическая астрономия интегрируют технологии и методы обработки пространственной информации. Методологически они осуществляют междисциплинарный перенос знаний. На уровне познания космическая геоинформатика и геодезическая астрономия формируют картину мира (Tsvetkov, 2014).

Методологически космическая геоинформатика и геодезическая астрономия работают с информационным полем (Цветков, 2016), из которого извлекают знание, пространственное знание (Savinych, 2016) и геознание (Tsvetkov, 2016b).

Информационный аспект космической геоинформатики и геодезической астрономии состоит в создании дескриптивных моделей описания и прескриптивных моделей исследования. На Рисунке 2 приведены космические пространства как объект исследования геодезической астрономии.



**Рис. 2.** Космические пространства как объект исследования геодезической астрономии

Особенность схемы на Рисунке 2 в том, что геодезическая астрономия не исследует земную поверхность и подземное пространство. Рассматривая процесс освоения космического пространства как процесс цивилизации, можно считать, что космическая геоинформатика и геодезическая астрономия расширяют пространство, освоенное человеком. Методы геодезической астрономии и космической геоинформатики тесно интегрированы с космическими исследованиями и образуют новый этап интеграции космических и земных наук.

### 3. Заключение

Геодезическая астрономия в настоящее время является комплексом наук, тесно связанным с космической геодезией, геодезией, сравнительной планетологией и космической геоинформатикой. По инструментальной части существует тесная связь между геодезической астрономией космической геодезией, геодезией и метрологией. В аспекте сравнительного анализа существует связь между геодезической астрономией и сравнительной планетологией. В технологической части и в аспекте обработки данных геодезическая астрономия тесно связана с космической геоинформатикой. Кроме того, развитие инструментоведения, метрологии и астрономии также определяет динамику и

эволюцию геодезической астрономии. Следует отметить, что развитие вычислительной техники и появление проблемы больших данных (Буравцев, Цветков, 2019) также влияют на развитие геодезической астрономии. Можно говорить о науках о пространстве, к числу которых относят космическую геодезию, космическую геоинформатику, астрономию, геодезическую астрономию, спутниковую геодезию, сравнительную планетологию. Общим для этих наук является исследование пространственных отношений на Земле и в космосе и перенос методов земных наук в область исследования космического пространства. Общим для них является использование достижений вычислительных технологий для обработки наблюдений и измерений. Общим для этих наук является решение новых задач, которые методами других наук не решаются. Геодезическая астрономия частично входит в космическую геоинформатику, но другая ее часть развивается независимо. Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика позволяют получать пространственное знание, геознание и новый вид знания космическое знание (Savinykh, 2016).

### Литература

- Буравцев, Цветков, 2019 – Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // *Информация и космос*. 2019. №3. С. 110-115.
- Глушков и др., 2002 – Глушков В.В., Насретдинов К.К., Шаравин А.А. Космическая геодезия: методы и перспективы развития. М.: Институт политического и военного анализа. 2002. 448 с.
- Господинов, 2011 – Господинов С. Определение на блоково обуслови равнини деформации на земната кора посредством измерени пространствени хорди. Военно географична служба (Болгария), 2011. 39 с. (болг.)
- Господинов, Джордова, 2011 – Господинов С., Джордова С. Геодезическая астрономия. Военно географична служба (Болгария), 2011. 264 с.
- Кудж, 2019 – Кудж С.А. Методы сравнительного анализа // *Славянский форум*. 2019. 3(25): 140-150.
- Ознамец, Цветков, 2018 – Ознамец В.В., Цветков В.Я. Координатное геодезическое обеспечение: связь между приведенной и геодезической широтой // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2018. № 6 (10). С. 8-14.
- Пандул, 2010 – Пандул И.С. Геодезическая астрономия применительно к решению инженерно-геодезических задач. СПб.: Политехника. 2010.
- Розенберг, Цветков, 2009 – Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике. МГУПС, 2009. 67 с.
- Савиных, 2015 – Савиных В.П. О космической и земной геоинформатике // *Перспективы науки и образования*. 2015. №5. С. 21-26.
- Савиных, Цветков, 1999 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // *Информационные технологии*. 1999. №10. С. 36-40.
- Савиных, Цветков, 2012 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Сравнительная планетология. М.: МИИГАиК, 2012, 84 с.
- Савиных, Цветков, 2013 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформатика как система наук // *Геодезия и картография*. 2013. №4. С. 52-57.
- Цветков, 2016 – Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. №1-3. С. 455-456
- 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. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X
- Bolbakov, 2021 – Bolbakov, R.G. (2021). Construction and Design of Objects on the Surface of Planets // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 3-12.
- 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.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.
- Hayford, 1910 – Hayford J.F. A text-book of geodetic astronomy. J. Wiley, 1910.



- Hirt, Burki, 2006 – Hirt C., Burki B. Status of Geodetic Astronomy at the Beginning of the 21st Century // Festschrift Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. hc Gunter Seeber anlässlich seines. 65: 81-99.
- Hoskinson, Duerksen, 1947 - Hoskinson A.J., Duerksen JA. Manual of geodetic astronomy. US Government Printing Office, 1947.
- Korakitis, 2002 – Korakitis R. Lecture notes on Geodetic Astronomy // NTUA, School of Rural and Surveying Engineering (In Greek). 2002
- Kraus, 1966 – Kraus J.D. (1966). Radio astronomy. New York: McGraw-Hill.
- Lyovin, 2017 – Lyovin B.A. Earth Exploration from Space for Solving Transport Problems // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 3(1): 13-28.
- Robbins, 1967 – Robbins A.R. Time in geodetic astronomy // *Survey Review.* 1967. 19(143): 2-19.
- Rozenberg, Tsvetkov, 2009 – Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // *European Journal of Natural History.* 2009. 5: 102-103.
- 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. 1(2): 23-32.
- Savinych, 2019 – Savinych V.P. Planetary Research Information Systems // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2019. 5(1): 41-55.
- Savinych, 2020 – Savinych V.P. Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2020. 6(1): 23-34.
- Savinych, 2021 – Savinych V.P. Determination of the Linear Parameters of the Planet by Measuring the Angular Diameter // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 7(1): 28-34.
- Tsvetkov, 2014 – Tsvetkov V.Ya. Worldview Model as the Result of Education // *World Applied Sciences Journal.* 2014. 31 (2): 211-215.
- Tsvetkov, 2016a – Tsvetkov V.Ya. The Problem of Asteroid-Comet Danger // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2016. 1(2): 33-40.
- Tsvetkov, 2016b – Tsvetkov V.Ya. Geoknowledge // *European Journal of Technology and Design.* 2016. 3(13): 122-132.
- Tsvetkov, 2018 – Tsvetkov V.Ya. The Development of the Direction "Comparative Planetology" // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2018. 4(1): 34-41.
- Tsvetkov, 2021 – Tsvetkov V.Ya. Angular Measurements in Space Geoinformatics // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2021. 7(1): 35-42.
- Tyagunov, Tsvetkov, 2021 – Tyagunov A.M., Tsvetkov V.Ya. Logic of Space Observations // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2021. 7(1): 43-48.

## 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
- Bolbakov, 2021 – Bolbakov, R.G. (2021). Construction and Design of Objects on the Surface of Planets. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 7(1): 3-12.
- 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.
- Buravcev, Tsvetkov, 2019 – Buravcev, A.V., Tsvetkov, V.Ya. (2019). Oblachnye vychisleniya dlya bol'shih geoprostranstvennykh dannykh [Cloud computing for big geospatial data]. *Informaciya i kosmos.* 3: 110-115. [in Russian]
- Glushkov i dr., 2002 – Glushkov, V.V., NasretDinov, K.K., Sharavin, A.A. (2002). Kosmicheskaya geodeziya: metody i perspektivy razvitiya [Space geodesy: methods and development prospects]. M.: Institut politicheskogo i voennogo analiza. 448 p. [in Russian]
- Gospodinov, 2011 – Gospodinov, S. (2011). Opredelenie na blokovo obusloeni ravnini deformaii na zemnata kora posredstvom iziereni prostranstveni hordi. Voенно geografichna sluzhba (Bolgariya), 39 p. [in Bulgarian]
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 4(1): 9-33.
- Gospodinov, Dzhordova, 2011 – Gospodinov, S., Dzhordova, S. (2011). Geodezicheskaya astronomiya [Geodetic astronomy]. Voенно geografichna sluzhba (Bolgariya), 264 p. [in Bulgarian]

- [Hayford, 1910](#) – *Hayford, J.F.* (1910). A text-book of geodetic astronomy. J. Wiley.
- [Hirt, Burki, 2006](#) – *Hirt, C., Burki, B.* (2006). Status of Geodetic Astronomy at the Beginning of the 21st Century. Festschrift Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. hc Gunter Seeber anlässlich seines. T. 65. Pp. 81-99.
- [Hoskinson, Duerksen, 1947](#) – *Hoskinson, A.J., Duerksen, J.A.* (1947). Manual of geodetic astronomy. US Government Printing Office.
- [Korakitis, 2002](#) – *Korakitis, R.* (2002). Lecture notes on Geodetic Astronomy. NTUA, School of Rural and Surveying Engineering 2002. [in Greek]
- [Kraus, 1966](#) – *Kraus, J.D.* (1966). Radio astronomy. New York: McGraw-Hill.
- [Kudzh, 2019](#) – *Kudzh, S.A.* (2019). Metody sravnitel'nogo analiza [Comparative Analysis Methods]. *Slavyanskij forum*. 3(25): 140-150. [in Russian]
- [Lyovin, 2017](#) – *Lyovin, B.A.* (2017). Earth Exploration from Space for Solving Transport Problems. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 3(1): 13-28.
- [Oznamec, Tsvetkov, 2018](#) – *Oznamec, V.V., Tsvetkov, V.Ya.* (2018). Koordinatnoe geodezicheskoe obespechenie: svyaz' mezhdru privedennoj i geodezicheskoj shirotaj [Coordinate geodetic support: the relationship between reduced and geodetic latitude]. *ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*. 6(10): 8-14. [in Russian]
- [Pandul, 2010](#) – *Pandul, I.S.* (2010). Geodezicheskaya astronomiya primenitel'no k resheniyu inzhenerno-geodezicheskikh zadach [Geodetic astronomy as applied to the solution of engineering and geodetic problems]. SPb.: Politehnika. [in Russian]
- [Robbins, 1967](#) – *Robbins, A.R.* (1967). Time in geodetic astronomy. *Survey Review*. 19(143): 2-19.
- [Rozenberg, Tsvetkov, 2009](#) – *Rozenberg, I.N., Tsvetkov, V.Ya.* (2009). Koordinatnye sistemy v geoinformatike [Coordinate systems in geoinformatics]. MGUPS, 67 p. [in Russian]
- [Rozenberg, Tsvetkov, 2009](#) – *Rozenberg, I.N., Tsvetkov, V.Ya.* (2009). The Geoinformation approach. *European Journal of Natural History*. 5: 102-103.
- [Savinyh, 2016](#) – *Savinyh, V.P.* (2016). On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 1(2): 23-32.
- [Savinyh, 2015](#) – *Savinyh, V.P.* (2015). O kosmicheskoy i zemnoj geoinformatike [On space and terrestrial geoinformatics]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 5: 21-26. [in Russian]
- [Savinyh, 2019](#) – *Savinyh, V.P.* (2019). Planetary Research Information Systems. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 5(1): 41-55.
- [Savinyh, 2020](#) – *Savinyh, V.P.* (2020). Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 6(1): 23-34.
- [Savinyh, 2021](#) – *Savinyh, V.P.* (2021). Determination of the Linear Parameters of the Planet by Measuring the Angular Diameter. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 28-34.
- [Savinyh, Tsvetkov, 1999](#) – *Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (1999). Osobennosti integracii geoinformacionnyh tekhnologij i tekhnologij obrabotki dannyh distancionnogo zondirovaniya [Features of integration of geoinformation technologies and technologies for processing remote sensing data]. *Informacionnye tekhnologii*. 10: 36-40. [in Russian]
- [Savinyh, Tsvetkov, 2012](#) – *Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2012). Sravnitel'naya planetologiya [Comparative planetology]. M.: MIIGAiK, 84 p. [in Russian]
- [Savinyh, Tsvetkov, 2013](#) – *Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2013). Geoinformatika kak sistema nauk [Geoinformatics as a system of sciences]. *Geodeziya i kartografiya*. 4: 52-57. [in Russian]
- [Tsvetkov, 2021](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2021). Angular Measurements in Space Geoinformatics. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 35-42.
- [Tsvetkov, 2014](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2014). Worldview Model as the Result of Education. *World Applied Sciences Journal*. 31(2): 211-215.
- [Tsvetkov, 2016](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2016). Informacionnoe pole i informacionnoe prostranstvo [Information field and information space]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 1-3: 455-456. [in Russian]
- [Tsvetkov, 2016a](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2016). The Problem of Asteroid-Comet Danger. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 1(2): 33-40.
- [Tsvetkov, 2016b](#) – *Tsvetkov, V.Ya.* (2016). Geoknowledge. *European Journal of Technology and Design*. 3(13): 122-132.

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

Tyagunov, Tsvetkov, 2021 – Tyagunov, A.M., Tsvetkov, V.Ya. (2021). Logic of Space Observations. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 7(1): 43-48.

## Эволюция геодезической астрономии

Господинов Славейко Господинов<sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Университет архитектуры, строительства и геодезии, София, Болгария

**Аннотация.** Статья анализирует эволюцию геодезической астрономии за последние 120 лет. Первоначально она формировалась на основе переноса методов измерений и обработки информации из геодезии в область астрономии. В настоящее время геодезическая астрономия находится в тесной взаимосвязи с космической геоинформатикой, сравнительной планетологией и космической геодезией. В настоящее время сравнительная планетология стала использовать больше измерительные методы и методы сравнительного анализа. Измерительные методы и методы сравнения связывают геодезическую астрономию и сравнительную планетологию. Расширенные методы геодезических измерений связывают космическую геодезию и геодезическую астрономию. Принципы интеграция технологий и интеграция данных из космической геоинформатики были перенесены в область геодезической астрономии. Общим для космической геодезии, космической геоинформатики, сравнительной планетологии и геодезической астрономии является тенденция к использованию угловых измерений и незначительного количества линейных измерений. Общим для этих наук является исследование пространственных отношений на Земле и в космосе. Общим для них является использование достижений вычислительных технологий для обработки наблюдений и измерений. Описаны четыре небесные сферы, которые применяют в геодезической астрономии. Описаны базовые системы координат, которые применяют в геодезической астрономии. Описаны методы обеспечения единства временных измерений в геодезической астрономии. Статья раскрывает содержание геодезической астрономии через основные направления ее применения. Описаны особенности астрономических определений, характерные для геодезической астрономии. Эволюция геодезической астрономии привела к тому, что ее современное содержание существенно отличается от ее первоначального содержания

**Ключевые слова:** астрономия, геодезическая астрономия, геоинформатика, космическая геоинформатика, астрономические координаты, геодезические координаты.

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [sgospodinov@mail.bg](mailto:sgospodinov@mail.bg) (Г.С. Господинов)

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 12-22

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.12  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Development of Space Monitoring

Stanislav A. Kudzh <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russian Federation

### Abstract

The article discusses the development of space monitoring. It is shown that space monitoring is based on the integration of methods of terrestrial monitoring and the integration of earth sciences into space research. The software can be extended to outer space. Space monitoring uses remote sensing technology and instrumental visual observations. Space monitoring is greatly influenced by: space geodesy, geodetic astronomy, comparative planetology, space geoinformatics and the use of systems analysis in space research. A necessary factor in modern space monitoring is the use of different types of modeling. The article gives the systematics of space monitoring carried out in different aspects. Space monitoring has two directions. The first group is aimed at exploring extraterrestrial space. The second group aims to support the exploration of the Earth from space and a portion of near-Earth space. The article introduces a new term "information monitoring situation". The article shows the delineation of the scope of application of geoinformatics and space geoinformatics. The article reveals the content of outer space as objects of space monitoring research. The difference between sublunar and for the lunar spaces is shown in the aspect of meteorite hazard. The article reveals the content of the coordinate support of space monitoring. Space monitoring uses: galactic, heliocentric, geocentric and topocentric systems. The content of these systems is revealed. The difference between the galactic latitude and longitude and the heliocentric one is shown. The features of determining the position of space objects in different coordinate systems are noted and recommendations are given on the use of these coordinate systems.

**Keywords:** space research, monitoring, space monitoring, geoinformatics, space geoinformatics, space geodesy, information space, coordinate support.

### 1. Введение

Современный космический мониторинг включает ряд технологий и методов наук о Земле и специальных технологий исследования космического пространства. Космический мониторинг использует достижения в области инструментального исследования и достижения в области математики и обработки информации. Развитие космического мониторинга отражает состояние и развитие науки и техники (Цветков, 2015а). На первом этапе становления и развития космический мониторинг использовал исключительно дистанционные методы без участия человека. По мере освоения космического пространства, участия человека в космических полетах, строительства орбитальных научных станций (Савиных, Цветков, 2017) – появилась возможность подключения человека в цепочку технологических процессов. Это привело к созданию методов и технологий – визуальных космических наблюдений (Савиных, 2020). Для условий применения космического

\* Corresponding author  
 E-mail addresses: [ректор@mirea.ru](mailto:ректор@mirea.ru) (S.A. Kudzh)

мониторинга (КМ) характерны большие расстояния, не соизмеримые с расстояниями земных условий наблюдения. Это привело к тому, что для КМ применяют не только точные методы получения информации, но и большое число оценочных измерений и методов индикации. Отдаленность средств наблюдения от центров управления вызвала необходимость дублирования получаемой информации для обеспечения в общем более надежных результатов обработки. Такое дублирование возможно при использовании разных диапазонов получения информации. Это свойство как интеграционное содержат технологии космического мониторинга (ТКМ). Дополнительно к этому ТКМ содержат дифференциальные технологии, не применяемые в земных условиях. Такие технологии собирают информацию в узких спектральных диапазонах, при последующем сопоставлении диапазонной информации друг с другом и интегральными наблюдениями. Можно констатировать наличие двух групп технологий: интеграционных и дифференцированных.

Современное состояние космического мониторинга характеризуется широким использованием и трансформацией в него наук о Земле. Трансформация наук о Земле в космические исследования привела к появлению: космической геодезии (Глушков и др., 2002, Ознамец, Цветков, 2018, Oznamets, Tsvetkov, 2019), геодезической астрономии (Gospodinov, 2018), сравнительной планетологии (Tsvetkov, 2018), космической геоинформатики (Bondur, Tsvetkov, 2015b, Савиных, 2015a). К этому следует добавить широкое применение системного анализа в космических исследованиях. К этому следует добавить широкое применение методов обычной геоинформатики (Савиных, Цветков, 2013) и ГИС для обработки материалов космических исследований. Таким образом основание космического мониторинга находится в земных науках и прежде всего в геоинформатике, а приложения его имеют направленность на ближний и дальний космос. Методически важным для космического мониторинга является использование не только геоинформационных методов, но и информационных методов в космических исследованиях (Савиных, 2015b). Кроме системного анализа (Bondur, Tsvetkov, 2015a) концептуальными направлениями космического мониторинга являются концепция информационного пространства и информационного поля (Цветков, 2015b, Савиных, 2018). Необходимым фактором современного космического мониторинга является использование разных видов моделирования, включая метамоделирование (Tsvetkov et al., 2020).

## 2. Обсуждение и результаты Систематика космического мониторинга

Систематика космического мониторинга осуществляется по разным характеристикам или разным аспектам. Можно выделить следующие критерии: по объекту наблюдения, по активности мониторинга, по динамике движения, по спектральным характеристикам датчиков, по отношению к земной поверхности, по моделям объекта и другие. На Рисунке 1 приведена систематика космического мониторинга по основным аспектам

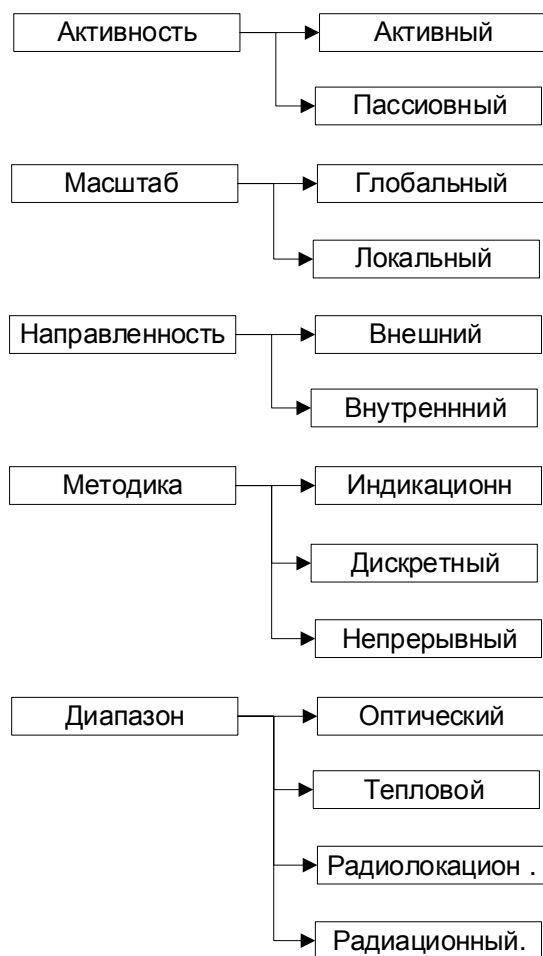
По объекту наблюдения и его окружению разделяют мониторинг объектов (объектный) и мониторинг процессов (процессуальный). Мониторинг процессов объектом исследования имеет процесс. Например, развитие пожара на определенной территории или распространение нефтяного пятна на поверхности океана. Объектный мониторинг отслеживает состояние и динамику состояния. Объектный мониторинг чаще является дискретным и индикационным. Процессуальный мониторинг является чаще непрерывным и аналитическим. Иногда одновременно наблюдают объекты и процессы.

По методике мониторинга его подразделяют на индикационный (дискретный) и аналитический (непрерывный). Если ТКМ только фиксируют наличие (да) или отсутствие (нет) чего либо, то такой КМ называют индикационным.

Если КМ наблюдает объект с временными разрывами то его называют: повторяемым, дискретным, периодическим, разрывным. Если КМ отслеживает явление на протяжении длительного интервала времени без прерывания, то его называют непрерывным, хотя эта непрерывность является условной.

По степени воздействия ТКМ на объект мониторинга разделяют: активное воздействие (активный мониторинг), дистанционное наблюдение (пассивный мониторинг). Активные ТКМ, например радиолокационное наблюдение, облучают объект мониторинга и тем самым воздействует на объект мониторинга. По большому счету это может менять

состояние объекта мониторинга. Например, для чувствительных биологических живых существ радиолокационное облучение может приносить вред. Но пока ученые и исследователи игнорируют эту проблему, пока не начнется массовая гибель. Другой пример лазерной зондирование. Другим примером является акустический мониторинг, который часто проводят в земных условиях. Он заключается в пропускании звуковых механических волн через объект мониторинга. Примером активного мониторинга является рентгеновская съемка. Пассивный мониторинг есть наблюдение со стороны без воздействия на объект. Этот мониторинг является экологически чистым. Например, применение фотосъемки в оптическом или инфракрасном диапазонах является пассивным мониторингом. Необходимо остановиться на понятии система мониторинга. Кроме технологий используют системы мониторинга или системы космического мониторинга (СКМ). СКМ включает технико-технологический комплекс и представляет собой целостную систему с позиций системного анализа.



**Рис. 1.** Систематика космического мониторинга

Пассивный мониторинга предпочтительнее при обследовании неизвестных космических объектов, поскольку активное излучение со стороны системы мониторинга может восприниматься как агрессия инициировать неизвестные процессы на объекте мониторинга.

Вид фиксации движения объекта позволяет разделять мониторинг на дискретный и непрерывный динамический мониторинг (НДМ). Дискретный динамический мониторинг, при котором позиционирование объекта мониторинга осуществляют в разных точках пространства, удаленных друг от друга значительно (точечное определение). Непрерывный динамический мониторинг основан использовании временной функции, дискретный на дискретном одели временного ряда.

Преимуществом непрерывного мониторинга является возможность проведения ретроспективного и перспективного анализа. Перспективный анализ позволяет осуществлять прогнозирование. Недостатком непрерывного мониторинга является требование апостериорной временной модели движения. Без такой модели мониторинг не применим.

Дискретный мониторинг не требует модели движения. Он фактически фиксирует текущее положение объекта. Дискретный мониторинг определяет положение объекта в точке наблюдения. Но за время сбора информации и ее обработки космический объект проходит большое расстояние. Поэтому, наблюдение в одной точке не эффективно. Требуется наблюдение в нескольких точках характерных для данного типа движения. При этом следует учитывать движение объектов со скоростями 12-17 км/сек. То есть, если есть пауза между измерениями в минуты, то объект может пролететь тысячу километров между наблюдениями.

Применение НДМ требует либо знания закономерностей движения, либо точного уравнения движения. В космосе траектории движения это чаще всего кривые второго порядка. Они могут быть либо не возмущенные, что бывает редко и характерно для небольших расстояний. Они могут быть, что чаще бывает, возмущенные. То есть движение происходит с учетом влияния других тел космического пространства. Для учета возмущений необходимо вводить и использовать понятие скользящей информационной ситуации, в условиях которой движется объект. в земных условиях примером этого является железнодорожный транспорт, который движется по заданной траектории – железнодорожному пути. По мере движения окружающая обстановка меняется и могут возникнуть ситуации влияющие на изменение движения, например помехи на траектории. Это не полная аналогия, поскольку траектория космического тела может меняться, а траектория средства железнодорожного транспорта привязана к рельсам.

Если в качестве критерия характеристики мониторинга выбрать волновой диапазон, то это дает такую систематику: радиационный мониторинг (Цветков, 2015с), оптический мониторинг (Бондур и др., 2010), тепловой мониторинг (Виноградов и др., 2017), мониторинг на СКВ (Бондур, Чимитдоржиев, 2008), лазерный мониторинг.

Влияние информатизации и развитие моделирования привело к использованию их достижений в СКМ. При этом моделирование разделяют на внутреннее и внешнее. Внутреннее моделирование связано с моделированием технологий мониторинга, моделированием процессов сбора и моделирование обработки собранной информации. Внешнее моделирование связано с моделированием состояний или динамики объектов мониторинга.

Для обоих видов моделирования характерно использование концептуального и прикладного моделирования. Концептуальное моделирование использует метамоделирование и информационное конструирование (Дешко, 2016). Прикладное информационное моделирование использует модель информационной ситуации, модели информационных отношений (Дешко, Трифонов, 2014), модели пространственных отношений. Прикладное информационное моделирование использует ономазиологическое моделирование, которое строится на применении информационных единиц (Ozhereleva, 2014).

По моделям объекта при космическом мониторинге выделяют применение статистических моделей объектов, динамических моделей объектов. По моделям объекта с учетом информационного окружения при космическом мониторинге выделяют применение информационных моделей ситуации (ситуативный мониторинг). Применение моделей информационного взаимодействия разных объектов (коммуникативный мониторинг).

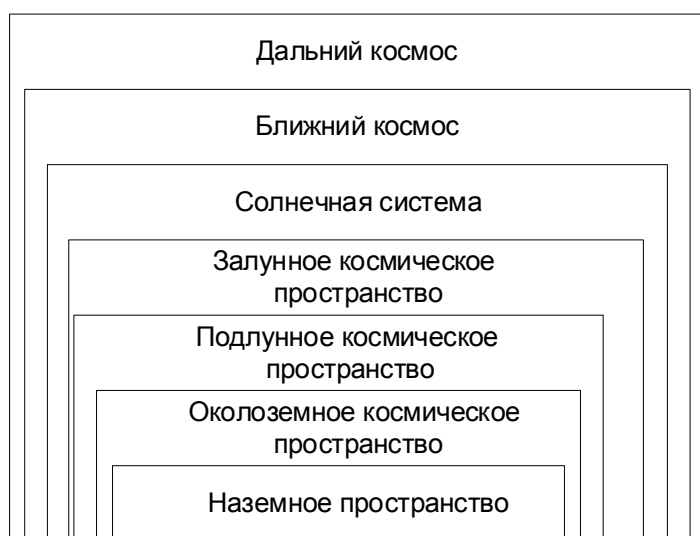
Поле мониторинга это область пространства, в которой находится объект мониторинга, и его окружение. Иногда поле мониторинга есть информационная ситуация, но чаще ситуация входит в поле мониторинга. По полю наблюдения разделяют космический мониторинг на: внутренний внешний и мониторинг околоземного пространства. Обычно этот показатель оценивается к орбите космического аппарата. С поверхности земли возможен только внешний мониторинг.

Внутренний мониторинг направлен на исследование поверхности земли и океанов с орбиты космической станции или ИСЗ. Внутренний мониторинг направлен на исследование части околоземного пространства. Внутренний мониторинг – это, по существу, исследование Земли их космоса. Особенностью его является то, что он использует геоданные (Savinykh, Tsvetkov, 2014). Внешний мониторинг направлен на исследование части подлунного

пространства, всего залунного пространства и космического пространства в ближнем и дальнем космосе.

### **Космические пространства как объекты космического мониторинга.**

Коль скоро речь зашла о пространствах, необходимо дать разъяснения их содержания. Они связаны со структурой вселенной. Во многих философских и технических публикациях доказано, что мир есть система систем (Монахов и др., 2005). Структурностью вселенной обуславливает структурность пространств. При этом космические пространства и информационные пространства – это субъективные понятия, связанные с критериями, которые вводит человек. С одной стороны это понятие отражает некую объективную структурность, с другой задает условные пространства, характеристики, которым придумывает человек. Исходя из объективной структурности и субъективной условности, можно построить структуру информационных космических пространств (Рисунок 2).



**Рис. 2.** Структура информационных космических пространств.

В данной работе вводится новый термин «информационное космическое пространство». Оно отражает реальное пространство и поэтому возникает вопрос определения границ информационных пространств. Эти исследования проведены в работах (Barmin et al., 2014; Бармин и др., 2014). При этом следует отметить околоземное космическое пространство (ОКП). Все пространства на Рисунке 2 являются условно статическими. ОКП является динамическим. Оно растет с ростом освоения космического пространства и заброской новых технических средств в космическое пространство. Следующий шаг его освоения будет связан с освоением точек либрации.

Важной границей является атмосфера. Она потенциально задает воздушную съемку. Но юридически она отделяет космос от земного пространства. Граница космоса 100 км от поверхности мирового океана или геоида. На Рисунке 2 она не дана. До 100 км действует земная геоинформатика, свыше 100 км действует космическая геоинформатика.

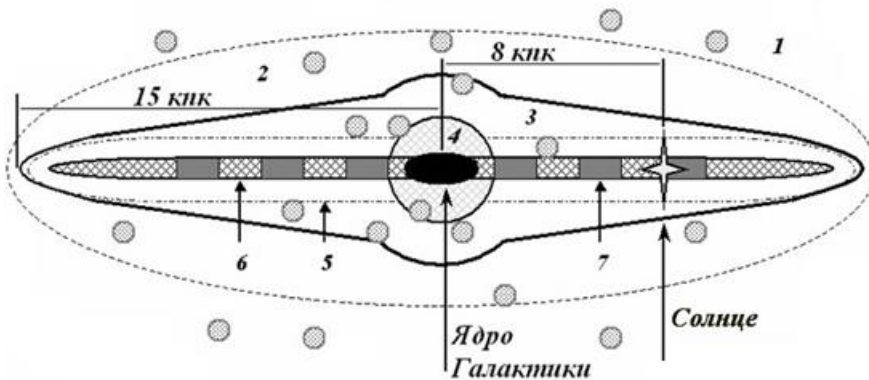
Таким образом граница космоса 100км от поверхности Земли. Граница ОКП девять земных радиусов. ОКП содержит все физические поля и наглядно показывает разницу между полем и пространством. Подлунное КП это сфера с центром в центра масс и радиусом равным расстоянию до лунной траектории. Залунное КП это сфера, радиус которой равен одной астрономической единицы (расстояние от Земли до Солнца). Центр сферы находится в центре масс Земли. Это пространство можно рассматривать как расширение геоцентрической системы координат до Солнца.

### **Координатное обеспечение космического мониторинга**

Координатное обеспечение космического мониторинга основано на применении систем координат (Бармин и др., 2014). В практике космического мониторинга применяют такие системы координат: галактическая, связанная с центром галактики, гелиоцентрическая (обычно центр в Солнце), геоцентрическая (центр в центре масс Земли),



топоцентрическая (центр на поверхности Земли). Галактическая система является общей по отношению к звездным системам. Однако начало координат ее связывают с Солнцем (Рисунок 3). На Рисунке 3 показано геометрическое положение гелиоцентрической системы (Веселовский, Кропоткин, 2010).

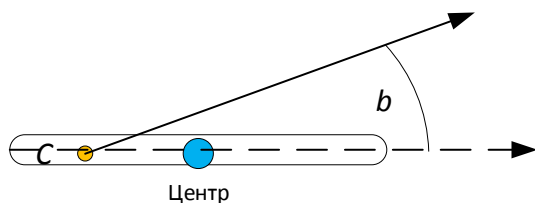


**Рис. 3.** Положение гелиоцентрической системы координат в галактической системе координат

На Рисунке 3 даны условные цифровые обозначения. Цифра один обозначает локальное скопление, которое называют шаровым. Эти объекты разбросаны по галактике относительно ее главной плоскости. Цифрой два обозначают пространственную систему которую называют промежуточной. Она охватывает основной диск. Ее границы показаны пунктиром. Основная часть галактики обозначена цифрой три и выделена полужирной линией. Внутри нее существуют две подсистемы молодая и старая. Они обозначены цифрами 5 и 6. Ядро галактики обозначено цифрой 4. Поскольку галактика представляет собой спиралеобразную конструкцию, то такая конструкция показана в разрезе и обозначена цифрой семь. Сокращение «КПК» означает килопарсек, значение которого дается в любом справочнике по астрономии.

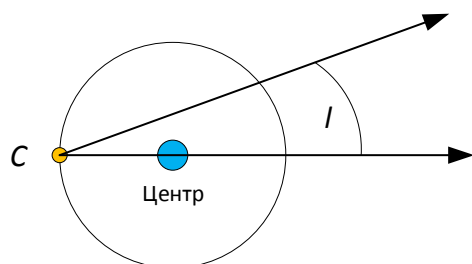
Как показано на Рисунке 3 начало координат галактической системы совпадает с началом координат гелиоцентрической системы. Для ориентации экваториальную плоскость галактической системы соотносят с Млечным Путем, но располагают в галактическом диске. Это обусловлено тем, что Млечный Путь находится в малом круге галактической сферы, а галактический диск соотносится с большим кругом.

Галактическая система координат имеет главную ось, нормальную к млечному пути и к галактическому диску. Эта нормаль задает два условных полюса галактики. На Рисунке 4 показана галактическая долгота.



**Рис. 4.** Галактическая долгота

На Рисунке 4 символом С обозначено Солнце, символом  $b$  показана долгота. Галактическую долготу измеряют от 0 до  $360^\circ$ . На Рисунке 5 показана галактическая широта.



**Рис. 5.** Галактическая широта

На [Рисунке 5](#) символом С обозначено Солнце, символом  $l$  показана широта. Широта  $l$  принимает значения от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ .

Как следует из [Рисунка 2](#), галактическая система описывает дальний и ближний космос. Солнечную систему описывает гелиоцентрическая система координат. Три более низкие по иерархии ([Рисунк 2](#)) системы: залунную, подлунную и околоземную описывает геоцентрическая система координат. При переходе измерения координат космического тела от галактической к гелиоцентрической достаточно применять угловые координатные преобразования, поскольку центр у них общий. При переходе измерения координат космического тела от гелиоцентрической к геоцентрической необходимо применять линейные и угловые координатные преобразования, что является более сложной процедурой.

Применение той или иной системы координат зависит от удаления до космического объекта ([Tsvetkov, 2016a](#)).

### 3. Заключение

Современный космический мониторинг строится на основе интеграции методов земного мониторинга и интеграции наук о Земле в космические исследования. Концепция информационного пространства в космическом мониторинге трансформируется в координатное обеспечение космического мониторинга. Сложность развития космического мониторинга обусловлена космической и наземной проблемой больших данных ([Буравцев, Цветков, 2019](#)). В космическом мониторинге широко применяют моделирование и пространственные модели, а в ряде случаев применяют пространственную логику ([Tyagunov, Tsvetkov, 2021](#)). Все это находит отражение в эволюции космического мониторинга ([Savinych, 2017](#)). При рассмотрении координатного обеспечения существуют терминологические и семантические проблемы, требующие решения. На развитие СКМ, ТКМ и КМ существенно влияют новые технические решения, такие как планетная альтиметрия ([Tsvetkov, 2020](#)) или использование орбитальных станций ([Савиных, Цветков, 2017](#)).

### Литература

[Бармин и др., 2014](#) – Бармин И.В., Данхем Д.У., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Координатное обеспечение системы глобального мониторинга // *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*. 2014. № 3. С. 109-115.

[Бондур и др., 2010](#) – Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Методы аэрокосмической диагностики лесных экосистем // *Экологические системы и приборы*. 2010. №3. С. 17-26.

[Бондур, Чимитдоржиев, 2008](#) – Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Анализ текстуры радиолокационных изображений растительности // *Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2008. № 5. С. 9-14.

[Буравцев, Цветков, 2019](#) – Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // *Информация и космос*. 2019. №3. С.110-115.

[Веселовский, Кропоткин, 2010](#) – Веселовский И.С., Кропоткин А.П. Физика межпланетного и околоземного пространства. М.: Университетская книга, 2010. 116 с.

[Виноградов и др., 2017](#) – Виноградов А. Н. и др. Авиационная система дистанционного мониторинга земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне (400-1700 нм) // *Датчики и системы*. 2017. №. 5. С. 32-36.

Глушков и др., 2002 – Глушков В.В., Насретдинов К.К., Шаравин А.А. Космическая геодезия: методы и перспективы развития. М.: Институт политического и военного анализа. 2002. 448 с.

Дешко, 2016 – Дешко И.П. Информационное конструирование. М.: МАКС Пресс, 2016. 64 с.

Дешко, Трифонов, 2014 – Дешко И.П., Трифонов Н.И. Отношения в информационном поле // *Вестник МГТУ МИРЭА*. 2014. № 4 (5). С. 63-75.

Монахов и др., 2005 – Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. М.: Просвещение, 2005. 264 с.

Ознамец, Цветков, 2018 – Ознамец В.В., Цветков В.Я. Координатное геодезическое обеспечение: связь между приведенной и геодезической широтой // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2018. № 6 (10). С. 8-14.

Савиных, 2015a – Савиных В.П. О космической и земной геоинформатике // *Перспективы науки и образования*. 2015. №5. С. 21-26.

Савиных, 2015b – Савиных В.П. Информационное обеспечение научных и прикладных исследований на основе космической информации // *Перспективы науки и образования*. 2015. №2. С. 51-59.

Савиных, 2018 – Савиных В.П. Космические информационные пространства и информационные поля // *Славянский форум*. 2018. 3(21): 33-40.

Савиных, Цветков, 2013 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформатика как система наук // *Геодезия и картография*. 2013. №4. С. 52-57.

Савиных, Цветков, 2017 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Систематика орбитальных космических исследований // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2017. №4. С. 93-104.

Цветков, 2015a – Цветков В.Я. Космический мониторинг: Монография. М.: МАКС Пресс, 2015. 68 с

Цветков, 2015b – Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. №1-3. С. 455-456.

Цветков, 2015c – Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // *Перспективы науки и образования*. 2015. №3(15). С. 48-55.

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

Bondur, Tsvetkov, 2015a – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. System Analysis in Space Research // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2015. 1(1): 4-12.

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

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

Ozhereleva, 2014 – Ozhereleva T. A. Systematics for information units // *European Researcher*. 2014. 11/1 (86): 1894-1900.

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.

Savinych, 2017 – Savinych V.P. Evolution of Space Monitoring // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2017. 3(1): 33-40.

Savinych, 2020 – Savinych V.P. Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2020. 6(1): 23-34.

Savinykh, Tsvetkov, 2014 – Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Geodata As a Systemic Information Resource // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2014. 84(5): 365-368. DOI: 10.1134/S1019 331614050049

Tsvetkov et al., 2020 – Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodelling in the information field // *Amazonia Investiga*. 2020. T. 9. № 25. С. 395-402.

Tsvetkov, 2016a – Tsvetkov V.Ya. The Problem of Asteroid-Comet Danger // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2016. 1(2): 33-40.

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

[Tsvetkov, 2020](#) – *Tsvetkov V.Ya.* Planetary Altimetry // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2020, 6(1): 46-52.

[Tyagunov, Tsvetkov, 2021](#) – *Tyagunov A.M., Tsvetkov V.Ya.* Logic of Space Observations // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2021. 7(1): 43-48.

## References

[Barmin i dr., 2014](#) – *Barmin, I.V., Danhem, D.U., Kulagin, V.P., Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2014). Koordinatnoe obespechenie sistemy global'nogo monitoringa [Coordinate support of the global monitoring system]. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina.* 3: 109-115. [in Russian]

[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

[Bondur i dr., 2010](#) – *Bondur, V.G., Krapivin, V.F., Potapov, I.I.* (2010). Metody aerokosmicheskoy diagnostiki lesnyh ekosistem [Methods of aerospace diagnostics of forest ecosystems]. *Ekologicheskie sistemy i pribory.* 3: 17-26. [in Russian]

[Bondur, Chimitdorzhiev, 2008](#) – *Bondur, V.G., Chimitdorzhiev, T.N.* (2008). Analiz tekstury radiolokacionnyh izobrazhenij rastitel'nosti [Analysis of the texture of radar images of vegetation]. *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotos"emka.* 5: 9-14. [in Russian]

[Bondur, Tsvetkov, 2015a](#) – *Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya.* (2015). System Analysis in Space Research. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 1(1): 4-12.

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

[Buravcev, Tsvetkov, 2019](#) – *Buravcev, A.V., Tsvetkov, V.Ya.* (2019). Oblachnye vychisleniya dlya bol'shikh geoprostranstvennyh dannyh [Cloud computing for large geospatial data]. *Informaciya i kosmos.* 3: 110-115. [in Russian]

[Deshko, 2016](#) – *Deshko, I.P.* (2016). Informacionnoe konstruirovaniye [Information construction]. M.: MAKS Press, 64 p. [in Russian]

[Deshko, Trifonov, 2014](#) – *Deshko, I.P., Trifonov, N.I.* (2014). Otnosheniya v informacionnom pole [Relations in the information field]. *Vestnik MGTU MIREA.* 4(5): 63-75. [in Russian]

[Glushkov i dr., 2002](#) – *Glushkov, V.V., NasretDinov, K.K., Sharavin, A.A.* (2002). Kosmicheskaya geodeziya: metody i perspektivy razvitiya [Space geodesy: methods and development prospects]. M.: Institut politicheskogo i voennogo analiza. 448 p. [in Russian]

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

[Monahov i dr., 2005](#) – *Monahov, S.V., Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya.* (2005). Metodologiya analiza i proektirovaniya slozhnyh informacionnyh system [Methodology for the analysis and design of complex information systems]. M.: Prosveshchenie, 264 p. [in Russian]

[Ozhereleva, 2014](#) – *Ozhereleva T.A.* (2014). Systematics for information units. *European Researcher.* 11/1 (86): 1894-1900.

[Oznamec, Tsvetkov, 2018](#) – *Oznamec, V.V., Tsvetkov, V.Ya.* (2018). Koordinatnoe geodezicheskoe obespechenie: svyaz' mezhdru privedennoj i geodezicheskoy shirotoj [Coordinate geodetic support: the relationship between reduced and geodetic latitude]. *ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii.* 6(10): 8-14. [in Russian]

[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.

[Savinyh, 2017](#) – *Savinyh, V.P.* (2017). Evolution of Space Monitoring. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 3(1): 33-40.

[Savinyh, 2020](#) – *Savinyh V.P.* Visual and Instrumental Observations from the Spacecraft. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A.* 2020. 6(1): 23-34.

[Savinyh, 2015a](#) – *Savinyh, V.P.* (2015). O kosmicheskoy i zemnoj geoinformatike [On space and terrestrial geoinformatics]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya.* 5: 21-26. [in Russian]

[Savinyh, 2015b](#) – *Savinyh, V.P.* (2015). Informacionnoe obespechenie nauchnyh i prikladnyh issledovanij na osnove kosmicheskoy informacii [Information support of scientific and applied research based on space information]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya.* 2: 51-59. [in Russian]

Savinyh, 2018 – Savinyh, V.P. (2018). Kosmicheskie informacionnye prostranstva i informacionnye polya [Space information spaces and information fields]. *Slavyanskij forum*. 3(21): 33-40. [in Russian]

Savinyh, Tsvetkov, 2013 – Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Geoinformatika kak sistema nauk [Systematics of orbital space research]. *Geodeziya i kartografiya*. 4: 52-57. [in Russian]

Savinykh, Tsvetkov, 2014 – Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Geodata As a Systemic Information Resource. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 84(5): 365-368. DOI: 10.1134/S1019331614050049

Tsvetkov et al., 2020 – Tsvetkov, V.Ya., Shaitura, S.V., Minitaeva, A.M., Feoktistova, V.M., Kozhaev, Yu.P., Belyu, L.P. (2020). Metamodelling in the information field. *Amazonia Investiga*. 9(25): 395-402.

Tsvetkov, 2015a – Tsvetkov, V.Ya. (2015). Kosmicheskij monitoring: Monografiya [Space monitoring: Monograph]. M.: MAKS Press, 68 p. [in Russian]

Tsvetkov, 2015b – Tsvetkov, V.Ya. (2015). Informacionnoe pole i informacionnoe prostranstvo [Information field and information space]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 1-3: 455-456. [in Russian]

Tsvetkov, 2015c – Tsvetkov, V.Ya. (2015). Analiz primeneniya kosmicheskogo monitoringa [Analysis of the application of space monitoring]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 3(15): 48-55. [in Russian]

Tsvetkov, 2016a – Tsvetkov, V.Ya. (2016). The Problem of Asteroid-Comet Danger. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 1(2): 33-40.

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

Tsvetkov, 2020 – Tsvetkov V.Ya. Planetary Altimetry. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2020, 6(1): 46-52.

Tyagunov, Tsvetkov, 2021 – Tyagunov, A.M., Tsvetkov, V.Ya. (2021). Logic of Space Observations. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 43-48.

Veselovskij, Kropotkin, 2010 – Veselovskij, I.S., Kropotkin, A.P. (2010). Fizika mezplanetnogo i okolozemnogo prostranstva [Physics of interplanetary and near-earth space]. M.: Universitetskaya kniga, 116 p. [in Russian]

Vinogradov i dr., 2017 – Vinogradov, A.N. i dr. (2017). Aviacionnaya sistema distancionnogo monitoringa zemli v vidimom i blizhnem infrakrasnom diapazone (400-1700 nm) [Aviation system for remote monitoring of the earth in the visible and near infrared range (400-1700 nm)]. *Datchiki i sistemy*. 5: 32-36. [in Russian]

## Развитие космического мониторинга

Станислав Алексеевич Кудж<sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрено развитие космического мониторинга. Показано, что космически мониторинг строится на основе интеграции методов земного мониторинга и интеграции наук о Земле в космические исследования. Обеспечение может быть распространено на космическое пространство. Космический мониторинг использует технологии дистанционного зондирования и инструментально-визуальные наблюдения. Большое влияние на космический мониторинг оказывают: космическая геодезия, геодезическая астрономия, сравнительная планетология, космическая геоинформатика и применение системного анализа в космических исследованиях. Необходимым фактором современного космического мониторинга является использование разных видов моделирования. Статья дает систематику космического мониторинга осуществляется по

\* Корреспондирующий автор  
Адреса электронной почты: [rektor@mirea.ru](mailto:rektor@mirea.ru) (С.А. Кудж)

разным аспектам. Космический мониторинг имеет две направленности. Первая группа направлена на исследование внеземного космического пространства. Вторая группа направлена на поддержку исследований Земли из космоса и часть околоземного космического пространства. Статья вводит новый термин «информационная ситуация мониторинга». Статья показывает разграничение сферы применения геоинформатики и космической геоинформатики. Статья раскрывает содержание космического пространства как объектов исследования космического мониторинга. Показано различие между подлунным и залунным пространствами в аспекте метеоритной опасности. Статья раскрывает содержание координатное обеспечение космического мониторинга. В космическом мониторинге применяют: галактическую, гелиоцентрическую, геоцентрическую и топоцентрическую системы. Раскрывается содержание этих систем. Показано отличие галактической широты и долготы от гелиоцентрической. Отмечены особенности определения положения космических объектов в разных системах координат и даны рекомендации по применению этих систем координат.

**Ключевые слова:** космические исследования, мониторинг, космический мониторинг, геоинформатика, космическая геоинформатика, космическая геодезия, информационное пространство, координатное обеспечение.

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 23-27

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.23  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Gravitational Constant under the Strong Electromagnetic Field

Takaaki Musha <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> Advanced Science-Technology Research Organization, Yokohama, Japan

<sup>b</sup> Foundation of Physics Research Center (FoPRC), Cosenza, Italy

### Abstract

The author published a paper on the gravitational force generated by an interaction between matter and the ZPF field in the vacuum. This paper shows a new model of gravitation which is based on the interaction between matter and the ZPF field in a vacuum. From the equation of quantum electrodynamics, it can be derived that a gravity constant is not a constant but it can be decreased by the strong electromagnetic field. From this result, it can be seen that the celestial body with a high intensity electromagnetic field has a gravitational force which is different from the celestial body with no electromagnetic field. If the cutoff frequency of the zero point field is not so high as the Plank frequency, the weight of the material will be decreased by applying extremely high frequency electromagnetic radiation.

**Keywords:** gravity, ether, ZPF field, electromagnetic fluctuation, gravitational constant, vector potential, strong electromagnetic field.

### 1. Introduction

As early as 1951, P.A.M. Dirac published two papers where he pointed out that we should take into account quantum fluctuations in the flow of the aether (Dirac, 1951; Dirac, 1952). Inspired by the Dirac ideas, K.P. Sinha, C. Sivaram, and E.C.G. Sudarshan published in 1975 a series of papers that suggested a new model for the aether, in which it is a superfluid state of fermion and anti-fermion pairs, describable by a macroscopic wave function (Sinha et al., 1976; Sinha et al., 1976a; Sinha, Sudarshan, 1978). In their papers, they decided to treat the superfluid as a relativistic matter by putting it into the stress-energy tensor of the Einstein field equations.

Sakharov has proposed a suggestive model in which gravity is not a separately existing fundamental force, but rather an induced effect associated with zero-point fluctuations (ZPF's) of the vacuum, in much the same manner as the van der Waals and Casimir forces. In the spirit of this proposal, Puthoff developed a point-particle–ZPF interaction model that accords with and fulfills this hypothesis (Puthoff, 1989). In the model gravitational mass and its associated gravitational effects are shown to derive in a fully self-consistent way from electromagnetic-ZPF-induced particle motion (Zitterbewegung).

Based on their ideas, the author considered the mechanism of gravitation based on the interaction between matter and the ZPF (zero-point fluctuations) field contrary to Einstein's general relativity theory which claims that the gravitation is due to the curvature of the space (Musha, Pinheiro, 2021).

\* Corresponding author

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

## 2. Results

### Gravitation from the standpoint of the ZPF Energy in the Vacuum

Zero-point energy (ZPE) is the lowest possible energy that a quantum mechanical system may have. Unlike in classical mechanics, quantum systems constantly fluctuate in their lowest energy state as described by the Heisenberg uncertainty principle (i.e., the ZPF field). Based on Sakharov's idea, Puthoff proposed a gravitation mechanism by an interaction between elementary particles and the ZPF field (Puthoff, 1989). He considered that gravitational force is an induced effect associated with ZPF of the vacuum in much the same manner as the van der Waals and Casimir forces. But he didn't succeed to fully explain the mechanism of gravitation.

Jordan-Mbeutchou proposed a new model for Newtonian gravity by assuming space is filled with an ether (or aether) fluid (Ngucho, Fleury, 2019). He modeled gravity as an interaction between matter and ether fluid. He assumed that matter can absorb ether fluid proportionally to its mass. This phenomenon can be described by

$$\rho_e \nabla \cdot \vec{v}_e = -\rho / \tau, \quad (1)$$

where  $\rho_e$  is a density of ether,  $\vec{v}_e$  is its velocity field,  $\rho$  is normal matter mass density and  $\tau$  is a time constant.

Then the radial velocity of the ether which flows in a sphere with a radius  $r$  becomes

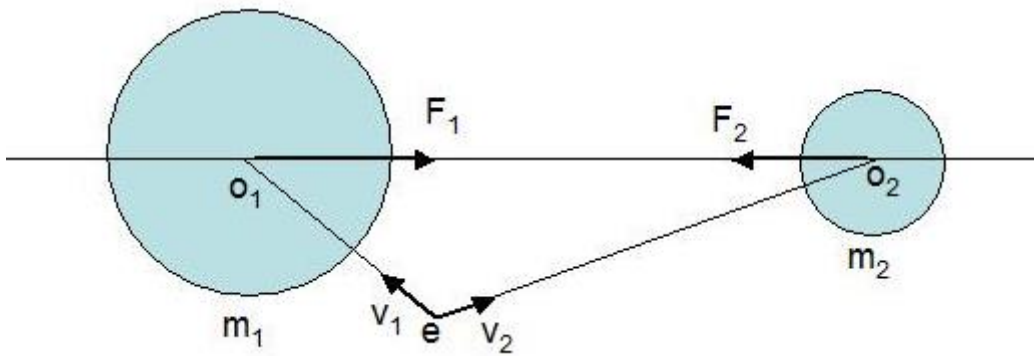
$$\vec{v}_e = -\frac{1}{4\pi\rho_e\tau} \frac{m(t)}{r^2} \vec{e}_r, \quad (2)$$

where  $\vec{e}_r$  is the radial unitary vector.

Then he obtained the formula of gravitation shown as

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S \rho_e (\vec{v}_1 + \vec{v}_2) [(\vec{v}_1 + \vec{v}_2) \cdot \vec{e}_1] dS = \frac{4}{3} \frac{1}{4\pi\rho_e} \frac{m_1 m_2}{\tau^2} \frac{1}{r^2} \vec{e}_z, \quad (3)$$

where  $\vec{e}_1 = \vec{o}_1 e / o_1 e$  ( $o_1 e = r_1$ ),  $\vec{e}_z = \vec{o}_1 o_2 / o_1 o_2$  and  $o_1 o_2 = r$  as shown in Figure 1.



**Fig. 1.** Two rest masses undergo the force generated the flow of ether

Contrary to the Puthoff model of gravitation, the author considered the gravity mechanism according to the Jordan-Mbeutchou model. The following is the derivation of a gravitational force by the ZPF field.

We assume that virtual particles (most of them are virtual photons) created from the ZPF field in a vacuum push matter, then the momentum flux density of virtual particles can be shown as

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\rho_m / \tau_0, \quad (4)$$

where  $J = \rho_E / c$  ( $\rho_E$ : energy density of the ZPF energy),  $\rho_m$  is an equivalent mass density of the ZPF field and  $\tau_0$  is a retardation time. For the ZPF field, we have the equation similar to Eq.(3) as



$$\frac{d \vec{P}}{dt} = -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S (\vec{p}_1 + \vec{p}_2) [(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) \cdot \vec{e}_1] / \rho_m \cdot dS. \quad (5)$$

If  $\vec{\omega}$  is defined as  $\vec{\omega} = c \vec{k}$  where  $\vec{k}$  is a wave vector satisfying  $k = \omega/c$ , we can write  $\vec{p} = \hbar \vec{\omega} / c$  and  $\rho_m = \hbar \omega / c^2$ , the amount of momentum created by the ZPF field can be shown as

$$\begin{aligned} \frac{d \vec{P}}{dt} &= -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S \frac{\hbar}{c} (\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2) \frac{c^2}{\hbar \omega} \left[ \left( \frac{\hbar \omega_1}{c} + \frac{\hbar \omega_2}{c} \right) \cdot \vec{e}_1 \right] dS \\ &= -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S \frac{\hbar \omega}{c^2} \left( \frac{c \vec{\omega}_1}{\omega} + \frac{c \vec{\omega}_2}{\omega} \right) \left[ \left( \frac{c \vec{\omega}_1}{\omega} + \frac{c \vec{\omega}_2}{\omega} \right) \cdot \vec{e}_1 \right] dS, \end{aligned} \quad (6)$$

where  $\vec{\omega}_1$  and  $\vec{\omega}_2$  are vectors of the radial frequency of the ZPF field at the point e, as shown in Figure 1. According to the Jordan-Mbeutchou model, we have

$$(\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2) \cdot \vec{e}_1 = \omega_1(r_1) + \omega_2(r_2) \frac{r_1 - r \cos \theta}{\sqrt{r_1^2 + r^2 + 2rr_1 \cos \theta}}, \quad (7)$$

where  $\theta$  is  $\angle o_2 o_1 e$  and  $o_1 e = r_1$ ,  $o_2 e = r_2$  in Fig.1.

When we let  $c \vec{\omega}_1 / \omega \rightarrow v_1$  and  $c \vec{\omega}_2 / \omega \rightarrow v_2$ , then the force at the point  $o_1$  in Figure 1 becomes the equation, which is similar to Eq.(3), according to the Jordan-Mbeutchou model (Jordan, Y-Mbeutchou, 2021).

$$F = \frac{d}{dt} P = \frac{\hbar \omega}{c^2} \frac{4}{3} \frac{4\pi}{(4\pi \rho_m)^2} \frac{m_1 m_2}{\tau_0^2} \frac{1}{r^2} \vec{e}_z = \frac{1}{3\pi} \frac{c^2}{\hbar \omega \tau_0^2} \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_z, \quad (8)$$

where a gravitational constant is given by  $G = \frac{1}{3\pi} \frac{c^2}{\hbar \omega \tau_0^2}$ .

If the cutoff frequency of the ZPF field  $\omega$  equals to the Plank frequency given by  $\omega = 1,855 \times 10^{43} (Hz)$ , the retardation time can be estimated as  $\tau_0 = 2.7 \times 10^8 (sec)$ . The Equation.(8) shows that the gravitational force can be generated by an interaction between matter and the ZPF field in a vacuum. According to this equation, the Newtonian gravitational law can be obtained without ether flow in the vacuum. Hence it is considered that the gravity is an electromagnetic phenomenon induced by the ZPF field in the vacuum and it is not due to the curvature of space as claimed by Einstein.

### 3. Gravitational Constant is not a Constant under the High Intensity Electromagnetic Field

Under an intense electromagnetic field, it has been theoretically predicted that electron experiences an increase of its rest mass.

Let  $H_A$  be the electrodynamic Hamiltonian of the particle under high electromagnetic field, it has the form shown as

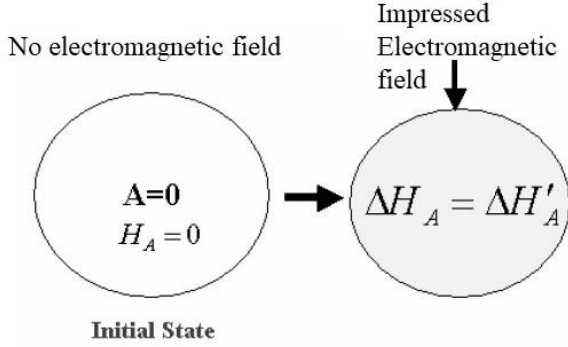
$$H_A = \frac{e^2}{2m_0 c^2} \langle A^2 \rangle, \quad (9)$$

which was analogically discovered by Milonni shown in the paper by Haish, Rueda and Puthoff (Haish et al., 1994), where  $m_0$  is the rest mass of the particle,  $e$  is its charge,  $A$  is the vector potential of electromagnetic field and  $c$  is the light speed.

The similar equation by using terms of the ZPF field was also proposed by Haisch, Rueda and Puthoff shown as (Haish et al., 1994)

$$H'_A = \frac{e^2 \hbar}{2\pi m_0 c^3} \omega_c^2, \quad (10)$$

where  $\hbar$  is a Plank constant divided by  $2\pi$  and  $\omega_c$  is a cutoff frequency of ZPF spectrum in the vacuum. Assuming that electrodynamic Hamiltonians, shown in Eqs. (9) and (10), are identical with each other, we have  $\Delta H_A = \Delta H'_A$  for the elementary particle under impressed electric field as shown in [Figure 2](#).



**Fig. 2.** ZPF field and an impressed electromagnetic field

From which, we have an equation on the mass shift of the particle.

We suppose that the cutoff frequency of the vacuum is shifted as  $\omega_c = \omega_0 + \Delta\omega$  when the electromagnetic field is impressed to the elementary particle,  $\Delta H'_A$  becomes

$$\Delta H'_A = \frac{e^2 \hbar}{2\pi m_0 c^3} \{(\omega_0 + \Delta\omega)^2 - \omega_0^2\} \approx \frac{e^2 \hbar}{\pi m_0 c^3} \omega_0 \Delta\omega, \quad (11)$$

where  $\omega_0$  is the Plank frequency given by  $\omega_0 = \sqrt{c^5 / \hbar G} \approx 3 \times 10^{43}$  Hz.

We can suppose that  $H_A = 0$  at the initial state, then we obtain the formula given by ([Musha, 2008](#))

$$\Delta\omega \approx \frac{\pi c}{2\hbar\omega_0} \langle A^2 \rangle. \quad (12)$$

Then the gravitational constant becomes

$$G = \frac{1}{3\pi} \frac{c^2}{\hbar(\omega_0 + \Delta\omega)\tau_0^2}. \quad (13)$$

From this equation, the gravitational constant decreases when the strong electromagnetic field is impressed to the matter from the equations  $B = \nabla \times A$  and  $E = -\partial A / \partial t$ , or

$$A = \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{\nabla \times B}{|r - r'|} d^3 r' - \frac{1}{4\pi c^2} \int_V \frac{\dot{E}}{|r - r'|} d^3 r', \quad (14)$$

where  $\dot{E}$  is a time derivative of  $E$ .

From this result, the celestial body with a high intensity electromagnetic field has a gravitational force which is different from the celestial body with no electromagnetic field. If the cutoff frequency of the zero point field  $\omega$  in Eq.(13) is not so high as the Plank frequency, the weight of the material will be decreased by applying extremely high frequency (EHF) electromagnetic radiation according to these equations.

### 3. Conclusion

In this paper, the gravity mechanism by an interaction between matter and the ZPF field in the vacuum is discussed. According to the Jordan-Mbeutchou model, it becomes clear that the gravity

mechanism can be explained by an interaction between matter and the ZPF field. From which, it can be seen that a gravity constant is not a constant but it can be decreased for the matter under the high intensity electromagnetic field. This result may give us a new insight regarding our Universe.

### References

- [Dirac, 1951](#) – Dirac, P.A. (1951). Is there an Aether? *Nature*. 168: 906-907.
- [Dirac, 1952](#) – Dirac, P.A. (1952). Is there an Aether? *Nature*. 169: 702.
- [Haish et al., 1994](#) – Haish, B., Rueda, R., Puthoff, H.E. (1994). Inertia as a zero-point-field Lorenz force. *Physical Reviw. A*. 49(2): 678-694.
- [Jordan, Y-Mbeutchou, 2021](#) – Jordan, Y-Mbeutchou, N. (2021). Proof for Dr. Takaaki Musha (private communication).
- [Musha, 2008](#) – Musha, T. (2008). Explanation of Dynamical Biefeld-Brown Effect From The Standpoint of ZPF Field. *JBIS*. 61: 379-384.
- [Musha, Pinheiro, 2021](#) – Musha, T., Pinheiro, M.J. (2021). The Gravitational Force Generated by an Interaction between Matter and the ZPF field in the Vacuum, and the Property of a Superfluid Vacuum. *Russian Journal of Astrophysical Resrarch*. 7(1): 20-27.
- [Ngucho, Fleury, 2019](#) – Ngucho, N., Fleury, P. (2019). Analogies between Gravity and Fluid Dynamics. African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), 1-23. [Electronic rewsource]. URL: <https://researchgate.net/publication/334721090>
- [Puthoff, 1989](#) – Puthoff, H.E. (1989). Gravity as a zero-point-fluctuation force. *Physical Review A*. 39(5): 2333-2342.
- [Sinha et al., 1976](#) – Sinha, K.P., Sivaram, C., Sudarshan, E.C.G. (1976). Aether as a superfluid state of particle-antiparticle pairs. *Found. Phys*. 6(1): 65-70.
- [Sinha et al., 1976a](#) – Sinha, K.P., Sivaram, C., Sudarshan, E.C.G. (1976). The superfluid vacuum state, time-varying cosmological constant, and nonsingular cosmological models. *Found. Phys*. 6(6): 717-726.
- [Sinha, Sudarshan, 1978](#) – Sinha, K.P., Sudarshan, E.C.G. (1978). The superfluid as a source of all interactions. *Found. Phys*. 8: 823-831.

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 28-31

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.28  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Actio Libera in Causa – as a Frontier between Empirical and Normative Dimensions

Shota Qobalia <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> Free University of Tbilisi law school, Georgia

<sup>b</sup> Non-governmental organization – Georgian Democracy Initiative, Georgia

### Abstract

This paper presents a doctrine analysis established in the criminal law – Actio Libera in Causa – i.e. “action free in its cause”, namely against the background of “Ethics of authenticity” by Charles Taylor, philosopher of politics, the conception “unfree in action” is reinterpreted.

The leitmotif of the paper is the idea that events shall fit the conceptions in the normative dimension and not concepts with the events, which means the reality in itself is beyond the value assessment, moreover, it can be neglected for normative standardization of events. For defining the social organization criteria, the initial point is not the ideal of truth in itself, but a substantiated model of balance of interests in the form of so-called “agreed truth”. Hence the need to subordinate the events to concepts is the core point in analyzing “action free in its cause”.

**Keywords:** normative, culpability, ethics, authenticity, freedom.

### 1. Introduction

The leitmotif of the paper is the idea that events shall fit the conceptions in the normative dimension and not concepts with the events, which means the reality in itself is beyond the value assessment, moreover, it can be neglected for normative standardization of events.

### 2. Results and discussion

#### The essence of culpable action free in will and the peculiarity of understanding wrongfulness

In the criminal law doctrine, the concept – action free in its cause – is connected to “the theory of moving the competency at the first stage” (Turava, 2013), according to which the person’s action is blameful not for the fact that performance of the elements of criminal act itself is done unlawfully, but because the previous act committed by the perpetrator of wrongful act is unlawful, which is the direct reason for committing the elements of the act. The Criminal law in the modern sense, is the law of conduct, and according to the normative theory of guilt, there exists a blamefulness of a conduct during performing the elements of a crime, therefore it’s not accidental that the abovementioned doctrine is called the “theory of moving the competency at the first stage”.

Although the doctrine – action free in its cause – comprises the crimes committed by persons in the state of intoxication, but not limited to, this doctrine considers other legal or factual circumstances existing around the unlawfulness. According to this opinion, “action free in its cause” is a crime when a person found himself guilty in the circumstances excluding culpability. From this point of view, the “action free in its cause” doctrine can be extended even in the case of

\* Corresponding author  
 E-mail addresses: [qobalia@gdi.ge](mailto:qobalia@gdi.ge) (S. Qobalia)

excusatory extreme necessity and provocation of necessary self-defense. "Excusatory extreme necessity" is a super law circumstance excluding guilt, according to which a person is absolved for equivalent kindness, endangering other persons' health and life (Turava, 2013) in order to save his/her or close relative's life and health. For example, a member of a certain criminal group issues an ultimatum to X person: either he will be killed, or he will kill Y person. At such moment, in the case of murdering Y, X's guilt is excluded, since during performing the elements of conduct (in the conditions of ultimatum), he/she can not be the subject of criminal reprimand. However what happens when it is established from factual circumstances that X, though it was not directly the similar ultimatum, himself/herself dealt with a criminal group, cooperated in a certain form with them or allowed to create such a circumstance within which it could be possible to use it for committing unlawful conduct? it is just at that time that the doctrine "action free in its cause" becomes actual. X with his/her free act, guiltily, created circumstances excluding guilt, which is in a causal link with the performed criminal injustice. Considering the above, X's casual guilt in established crime can be identified not only in the case of direct intent but in such a case when X violated the prudence norm and presumptuously or negligently found himself/herself in such a situation (Turava, 2013).

About the excusatory extreme necessity, it's worth pointing out article 36 of an alternative draft of the Criminal Code of Georgia, written by professor Otar Gamkrelidze, an analogy to paragraph 35 of the German Criminal Code and according to its second part, the norm defining the privilege linked with excusatory extreme necessity is not applied if the wrong-doer himself/herself created danger (Gamkrelidze, 1998).

The mentioned "created" is the category defined in the past form, which means that the circumstances excluding guilt ("this norm") are not active if its creation was caused by the guilty conduct of a person committing an unlawful act at the previous stage.

As the original position of a responsive criticism can be considered an idea, that the crime committed in the state of intoxication differs from the excusatory extreme necessity, since in the first case there is incapacity, and in another case – the absence of guilt. This difference is univocal of course, however, I think, it is conceptually irrelevant for defining the question about determining the guilt of a person's action free in its cause. In support of my opinion, I can supply two types of arguments: the first one is pragmatic: incapacity existing under intoxication transfers into the absence of guilt and thus this case, in relation to imputing guilt the action free in its cause, goes on the same doctrinal line as the excluded guilt during the excusatory extreme necessity. The second is substantial: the internal structure of incapacity is based on the person's mental state, the internal agent, the free will, the ability to behave differently. During the excusatory extreme necessity, the person acting unlawfully has the possibility to behave differently. However, the question is of fundamental importance: against the background of criminal purposes and effects, to what extent does this fact put this person in a privileged position in relation to the person who has no opportunity to behave differently as a result of the high degree of intoxication and does not realize the wrongfulness of his own action? It can be said with confidence that there is no such thing as a "privilege", moreover, in a situation where the law does not require "acting differently" (in case of excusatory extreme necessity and the provocation of necessary self-defense, directly during performing the elements of the action), considering the possibility of acting differently is normatively irrelevant and doctrinally wrong.

Therefore, there is no exclusive correlation between the plea of guilty of action free in its cause and crime committed by a person with partial sanity as a result of intoxication. Considering that the normative nature of creating a circumstance excluding guileful guilt cannot be brought to the inability of a person committing criminal wrongfulness to realize the illegality at a certain moment of time, I believe that a new theoretical and methodological perspective is needed for the categorization of the concepts included in it. Such can be considered the "Ethics of authenticity" developed by the Canadian philosopher of politics, Charles Taylor (Taylor, 1992).

### **Ethics of authenticity**

The phrase "action free in its cause" or conduct, which is free in its cause (*Actio Libera in causa*) is quite controversial and as I have noted in the introductory part, the clarity implied in it is such an action which is unfree in itself. What do we really mean when we say that action is free only in reason and not in itself? That we can not think of a person under alcoholic intoxication as a creature with freedom and consciousness? That he looks like a "live weapon" and just as a shooter

loses control of a bullet after pulling the trigger, so does a drunk person lose the consciousness and will he possessed. Precisely here, the above-mentioned notion of "that" is of fundamental importance. Perhaps it would be unfounded to argue that even a person under such a severe intoxication has no will or consciousness, even when he is severely encroaching legal goodness. Naturally, a person without will or consciousness cannot maneuver in time and space, and therefore neither encroach on goodness. The point is that at such times we are not talking about empirical freedom and consciousness, but about "that" freedom and consciousness, and consciously or implicitly, we are making a qualitative ranking of "consciousness" and "will". Thus, we concentrate not on the free act as a phenomenon with which we have fitted the concept, but on the notion with which we have fitted the phenomenon, within the framework defined by the criteria that we ourselves have set from the perspective of normative reality. Thus, from a criminal perspective, freedom and consciousness are relevant not as an empirical fact, but as a concept brought to a normative degree. It is this transition (or raising) from the empirical to the normative dimension, or from the event to the concept, that I relate to the ethics of authenticity, and I believe that this issue is not fundamentally analyzed, at least to the extent that the logic of systematic research requires.

For one of the most prominent figures in the field of political philosophy – Professor Charles Taylor, "personal authenticity" is a moral idea based on original internal self-determination which focuses on the problem of social organization. According to this view, a person is a being with many conflicting desires, irrational aspirations, desires based on desires. Each of us, as a moral being, has a so-called "horizon of meaning", within the frames of which, desires, aspirations, or goals are hierarchically arranged in our being, according to priorities, and neglect of these priorities and deviation from regularity ends in the loss of freedom (Taylor, 1985). From this point of view, the freedom of the individual can be reduced to neither so-called negative freedom ("non-existence of external coercion") (Berlin, 1969) nor positive freedom („own master of oneself"), but "freedom is the absence of internal and external obstacles in order to achieve valuable goals". It is in the definition of "valuable goal" that the ethics of actual authenticity takes place, which criminal law – as a field, has independently (Taylor, 2012).

To make it more apparent, a famous allegorical image called "The Pact of Odysseus" (Macklin, 1987) can be quite useful, according to which: After a long journey Odysseus enters the bay which is full of sirens. He knows he won't be able to resist the temptation coming from the sirens, but completion of the journey represents his own "authentic goal". That is why, on his own free will, ties himself up on deck with ropes and thus copes with the impending danger coming from the sirens (Macklin, 1987). In the event, if Odysseus had not limited freedom with this free act and had accompanied the temptation of the Sirens, he would have lost that self-determining freedom, which represents the authentic "I" of Odysseus and which is directly related to the highest desire according to value – the end of the trip. For him, freedom is not just the absence of external coercion, nor the presence of oneself as a master demanding the satisfaction of desires (positive freedom), but the absence of an internal obstacle – the temptation of the sirens in order to complete the journey. As for the external obstacle – the presence of Odysseus in a rope-tied situation, however, this mentioned fact is a form of restriction of freedom as well, but this is the case when the end justifies the means and, thus, from the viewpoint of ethics, this very fact cannot be considered as a restriction of freedom. This is a situation where we have adapted the concept of restriction of freedom to the phenomenon. Thus, we can define the act of general principle of the ethics of authenticity.

In terms of equalling with the goal, events conceived under the concepts are subject to selection.

A qualitatively similar ideological projection exists from a criminal point of view as well: Also as for Odysseus, in the case of his not being tied himself with the ropes, normatively ignored and beyond the authenticity, the will, and consciousness of Odysseus going to the Sirens was being created. The will and consciousness manifested by a person in a state of intoxication are also perceived by criminal law as unauthentic and normative - they exist only empirically and, therefore, can be neglected. Thus, it is the "ideal of certainty" that creates the possibility of subordination to the concept of an event. Just as it was possible to read the guilt of Odysseus in the case of his not having tied himself to the deck i.e. until the moment he is able to retain authentic consciousness and will, the act committed by a person before intoxication is considered guilt

similarly. The category of such unlawful acts can include any action in which the subject matter of law delinquently creates guilt as the circumstance that excludes the charge. Although there is no direct accusation in the act at the time of its commission, a legal reprimand can be based on the fact that a person has thrown himself in a similar situation by edging away from the ideal of authenticity.

Thus, the ethics of certainty, as a moral ideal, represents a mechanism for qualitative gradation between events, which allows their subordination to their own concepts, the function of the kind of “filter” between normative and empirical realities can be imposed on it.

### 3. Conclusion

Since the complexity of the concept of a criminal charge is due to the accumulation of philosophical, psychological, sociological, and normative concepts in it, we shall contain all concepts implied in it in order to determine its legal nature in the normative dimension. Resulting from it, improvement of fundamental significance and analyzing all the methods that transcribe concepts from the empirical category to the normative one. Of course, no one can ever deny the empirical foundations of these concepts, but thanks to these methods they become criminally irrelevant. It lies in the fact that the doctrine of “action free in its cause” reveals the diversity of the internal structure of the concept of guilt and transitional features that can be generalized to the characteristics of the criminal field as a whole. According to Friedrich Hayek's epistemological argument:

If we stopped doing everything, the scope of which we don't possess proper information on, we would soon be dead (Hayek, 1991).

Defining the concept of guilt by combining philosophical, psychological, sociological, or empirical aspects is doctrinally unjustified and practically ineffective, therefore these mentioned issues are of secondary importance, and the criminal semantics of guilt comes to the fore. I do believe that it is with the help of semantic analysis, that is, by maneuvering between theories of the meaning of concepts, it is possible to clarify the criminal concept of guilt. The "ethics of authenticity" represents one model for such maneuvering.

### References

- [Berlin, 1969](#) – Berlin, I. (1969). Two Concepts Of Liberty. Four Essays On Liberty. Oxford, England: Oxford University Press.
- [Gamkrelidze, 1998](#) – Gamkrelidze, O. (1998). Struggle for legal state. Tbilisi. P. 283.
- [Glanzberg, 2018](#) – Glanzberg, M. (2018). Truth. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Fall 2018 Edition.
- [Hayek, 1991](#) – Hayek, F. (1991). The Fatal Conceit. The Errors of Socialism. University of Chicago Press.
- [Macklin, 1987](#) – Macklin, A. (1987). Bound to Freedom: The Ulysses Contract and the Psychiatric Will. University of Toronto Faculty of Law Review 37-80.
- [Taylor, 1985](#) – Taylor, Ch. (1985). Philosophy and the human sciences. Cambridge, England: Cambridge University Press. P. 214.
- [Taylor, 1992](#) – Taylor, Ch. (1992). Ethics of Authenticity. Harvard University Press.
- [Taylor, 2012](#) – Taylor, Ch. (2012). What's wrong with negative liberty. Cambridge University Press.
- [Turava, 2013](#) – Turava M. (2013). Criminal law, overview of the general part. 9th ed., Tbilisi, 89 (in Georgian).

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 32-39

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.32  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Study of the "Earth-Moon" System

Viktor P. Savinykh <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation

<sup>b</sup> Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky (RACT), Russian Federation

### Abstract

The article examines the system of two bodies "Earth Moon". It is shown that, like any system of physical bodies, this system has a common center of mass or barycenter. The Earth and the Moon revolve around the barycenter. The incorrectness of the statement that the Moon revolves around the Earth is noted. The moon revolves around the common center of mass of the system, which is displaced with respect to the center of mass of the Earth, but is located in the body of the Earth. The parameters of the bodies' orbits in the Earth-Moon system are estimated. It is hypothesized that the ebb and flow occur due to the daily rotation of the Earth and the displacement of the center of the water mass relative to the barycenter. The phenomenon of libration points in the Earth-Moon system is described. Stable and non-stable libration points are described. Calculations of libration points in the Earth-Moon system and the associated Sun-Earth system have been carried out. The expediency of using libration points for the construction of space stations is noted. It is hypothesized that the libration points of the Sun-Earth system can contribute to the formation of debris rings in near-Earth space.

**Keywords:** space research, Earth, Moon, orbital parameters, barycenter, libration points, Sun Earth system.

### 1. Введение

Особенностью исследования космических объектов является их взаимосвязь. Объекты влияют друг на друга и тяжелые объекты влияют на малые и на траектории пролетающих космических тел. В космосе нет независимых тел. По существу, в космосе существуют системы связанных тел. Одной из таких систем является система «Земля-Луна», которая существенно влияет на жизнедеятельность человечества (Jorba-Cuscó, 2018). Анализ большинства систем начинается с их структуры. Анализа пространственных отношений и пространственных взаимодействий. В современных условиях компьютерного моделирования пространственных процессов пространственные взаимодействия моделируют информационными взаимодействиями. Кроме того, удобной формой описания пространственных процессов является модель информационной ситуации (Цветков, 2017). При космических исследованиях динамики информационная ситуация выполняет функции фотоснимка фиксирующего состояние объектов на определенный период времени. Это позволяет проводить анализ дальнейшего поведение объектов или пространственных систем типа «Земля-Луна».

\* Corresponding author  
 E-mail addresses: [president@miigaik.ru](mailto:president@miigaik.ru) (V.P. Savinykh)

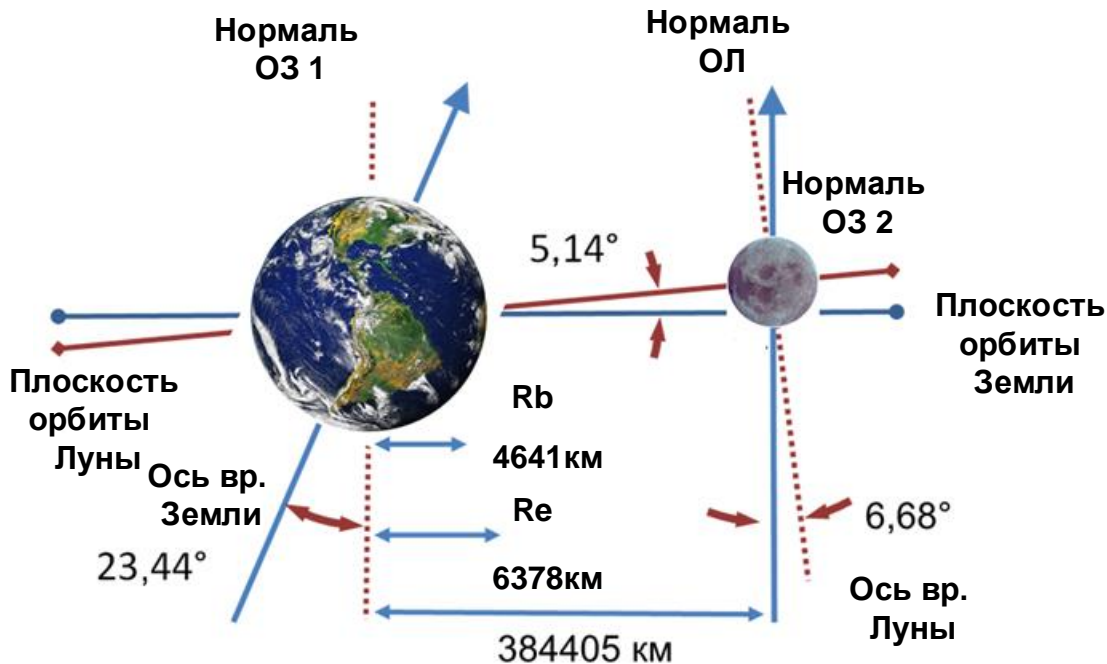


## 2. Результаты

### Динамика системы «Земля-Луна»

Во многих научно-популярных справочниках и даже в некоторых учебниках говорится, что Луна вращается вокруг Земли. Это неточность. Из курса физики известно, что любая связанная система из двух и более тел имеет общий центр масс. В система Земля Луна (СЗЛ) общий центра масс СЗЛ (барицентр) (Тихонов, Неверов, 2015) располагается примерно в  $R_b=4700$  км от центра масс Земли. Луна вращается вокруг этого центра масс. Более точное выражение звучит так: Луна вращается вокруг общего с Землей центра масс или барицентра, который удален от центра Земли на 4700 км.

Каждый оборот занимает 27,3 земных суток и называется сидерическим месяцем. В среднем Луна удалена от центра Земли примерно на 60 земных радиусов, что составляет 384405 км. На [Рисунке 1](#) приведена схема СЗЛ.



**Рис. 1.** Система Земля-Луна в орбитальном аспекте

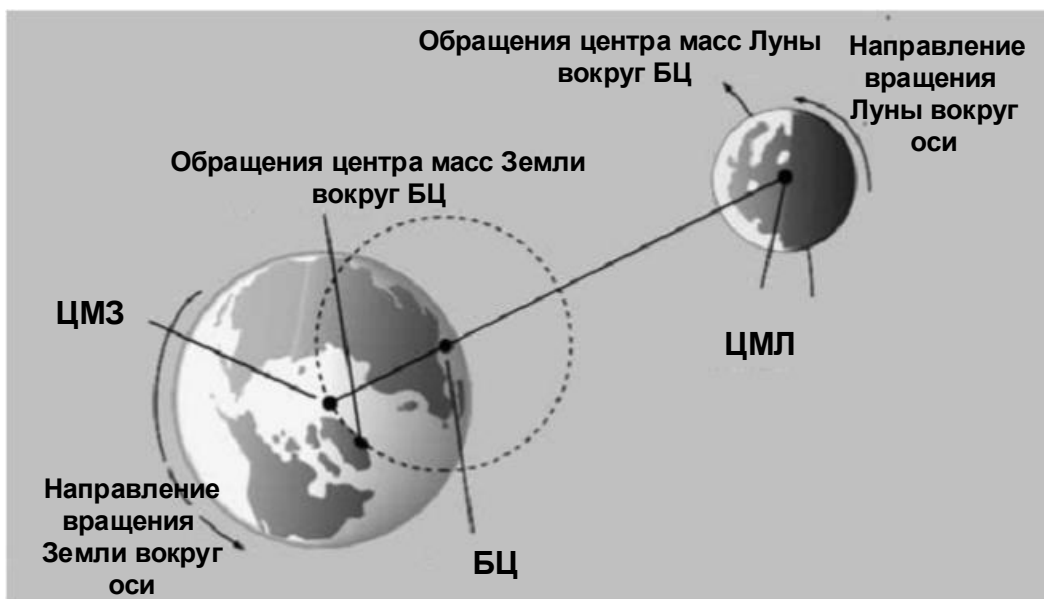
На [Рисунке 1](#) показано что орбита Луны наклонена на  $5,14^\circ$  по отношению к плоскости орбиты Земли. К плоскости орбиты Земли можно провести две нормали. Одна нормаль (нормаль ОЗ1) проходит через центр масс Земли вторая нормаль (нормаль ОЗ2, [Рисунок 1](#)) проходит через центра масс Луны. Расстояние между нормальями характеризует расстояние между центрами Земли и Луны. Ось вращения Земли отклонена от нормали ОЗ1 на  $23,44^\circ$ . Ось вращения Луны отклонена от нормали ОЗ2 на  $-6,68^\circ$ . Условная точка пересечения осей вращения Луны и Земли имеет координаты 35446 км от центра масс Земли и 81754 км по нормали к плоскости орбиты Земли. Луна вращается вокруг барицентра по эллипсу с параметрами приведенными на [Рисунке 2](#).

Средний эксцентриситет орбиты луны равен 0,0549006. Это дает основание считать ее близкой к круговой.



**Рис. 2.** Параметры орбиты Луны

Движение в системе Земля – Луна показано на [Рисунке 3](#). Общий центр масс СЗЛ или барицентр обозначен БЦ. Центр масс Луны обозначен ЦМЛ. Центр масс Земли обозначен ЦМЗ. На рисунке показаны направления вращения Земли и Луны вокруг своих осей. Пунктиром обозначено вращение центра масс Земли вокруг барицентра.



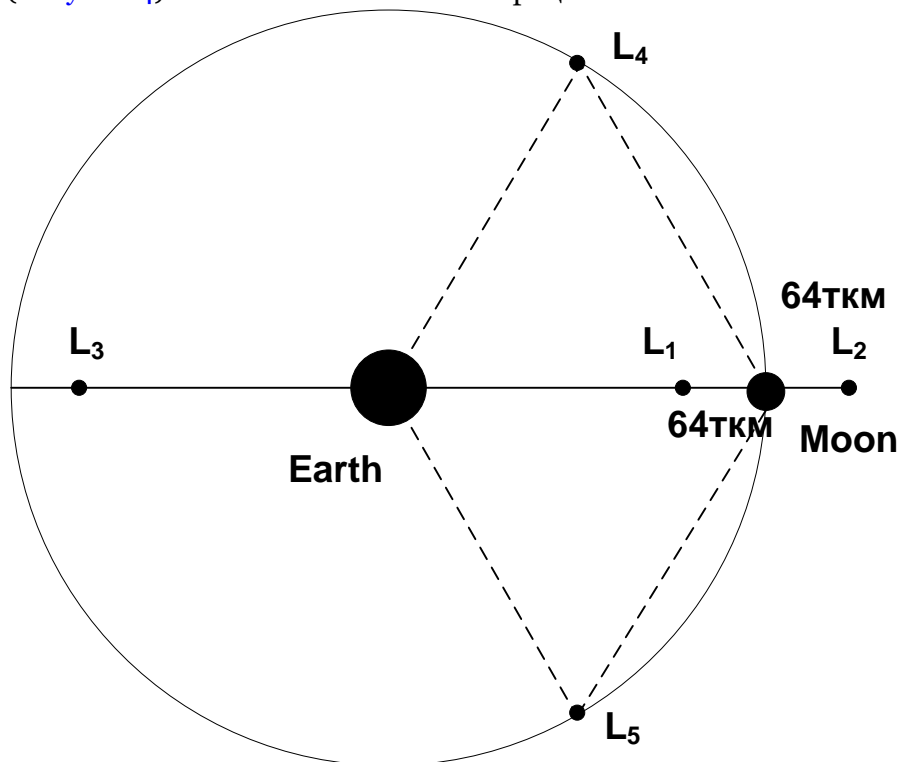
**Рис. 3.** Движение в системе Земля – Луна

Следует отметить еще одну особенность. В некоторых справочниках утверждают, что приливы и отливы проходят под влиянием Луны. Это неточно. Луна влияет, но посредством барицентра. Приливы происходят при вращении Земли вокруг своей оси, но с учетом влияния барицентра.

#### **Точки либрации в системе «Земля-Луна»**

В СЗЛ имеются феномены, связанные с движением Земли и Луны. К ним относятся точки Лагранжа ([Erdos, Turán, 1938](#); [Tyson, 2002](#); [Jantsch et al., 2019](#)), которые также называют точками либрации ([Capdevila, Howell, 2018](#)). Рассмотрим динамическую

информационную ситуацию, для которой космический аппарат (КА) находится на линии, соединяющей Землю и Луну (Рисунок 4). При движении по этой линии на КА действует притяжение Земли, притяжение Луны и центробежное ускорение, обусловленное вращением линии. Можно выдвинуть гипотезу, что существует точка, в которой эти три ускорения обнуляются. Выяснилось, что такие очки существуют в СЗЛ и таких точек пять (Рисунок 4). их назвали точками либрации и обозначают символом  $L$ .



**Рис. 4.** Точки либрации СЗЛ

Точки либрации представляют собой частное решение задачи трёх тел. В этой задаче орбиты всех тел являются круговыми, а масса третьего тела намного меньше массы двух других. В этом случае считают, что два массивных тела обращаются вокруг их общего центра масс (барицентра) с постоянной угловой скоростью. Решение показывает, что в пространстве вокруг двух тел существуют пять точек, в которых третье тело с малой массой может оставаться неподвижным во вращающейся системе отсчёта (СЗЛ). В точках либрации гравитационные силы, действующие на малое тело, уравновешиваются центробежной силой.

На Рисунке 4 показаны пять точек либрации. Принципиальным является то, что эта система подвижная и рис.4 фиксирует, как фотоснимок, одно из возможных состояний СЗЛ. Три точки либрации находятся на линии, соединяющей Землю и Луну (ЛЗЛ), их называют коллинеарными точками либрации. Первая находится между Землей (Earth) и Луной (Moon), ее обозначают  $L_1$ , вторая точка либрации находится за Луной –  $L_2$ , и третья коллинеарная точка либрации -  $L_3$  находится с обратной стороны Земли по отношению к Луне. Четвертая  $L_4$  и пятая  $L_5$  точки либрации находятся с двух сторон вне ЛЗЛ. Их называют треугольными точками либрации. Точки  $L_4$  и  $L_5$  называются треугольными или троянскими. Точки  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  являются точками неустойчивого равновесия, в точках  $L_4$  и  $L_5$  равновесие устойчивое

Условность модели на Рисунке 4 в том, что орбита не является строго круговой. Поэтому исследование и поиск точек либрации является научной проблемой. Если поместить в любую точку либрации малое тело, то в рамках вот такой простой системы оно там останется. С физических позиций точка либрации подобна потенциальной яме.

В системе координат с началом отсчёта в центре масс системы и с осью, направленной от центра масс к менее массивному телу, координаты этих точек в первом приближении по  $a$  рассчитываются с помощью следующих формул<sup>[2]</sup>:

$$\begin{aligned} r_1 &= (R [1-(a/3)^{1/3}], 0) \\ r_2 &= (R [1+(a/3)^{1/3}], 0) \\ r_3 &= (-R [1+(5a/12)], 0) \end{aligned}$$

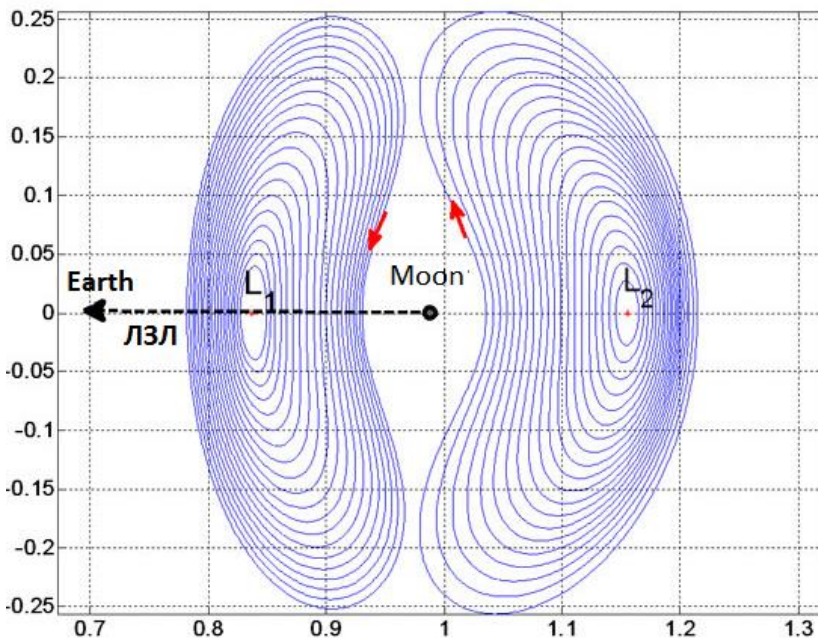
$a=M_2/(M_1+M_2)$ ;  $R$  – расстояние между телами;  $M_1$  – масса более массивного тела;  $M_2$  – масса второго тела. Если  $M_2$  много меньше по массе, чем  $M_1$ , то точки  $L_1$  и  $L_2$  находятся на примерно одинаковом расстоянии  $r$  от тела  $M_2$ , равном радиусу сферы Хилла

$$r \approx R(M_2/3 M_3)^{1/3}$$

где  $R$  – расстояние между компонентами системы

Если малое тело или КА выходит из этих точек, то в их окрестности оно может двигаться по периодическим орбитам (гало-орбитам, рис.5) (Zimovan, 2017). На Рисунке 5 в качестве условной единицы выбрано расстояние между Луной и Землей. Выделена линия Земля (Earth) – Луна (Moon) – (ЛЗЛ). Координатная (динамическая) система выбрана так, что одна ось (горизонталь) расположена вдоль направления ЛЗЛ, другая ось (вертикаль) нормально к ЛЗЛ.

Малое тело или КА могут двигаться вокруг точки либрации по таким орбитам. Для точек либрации  $L_1$ ,  $L_2$  системы Земля – Луна период движения по этим орбитам будет порядка 12-14 суток.



**Рис. 5.** Гало-орбиты СЗЛ

Оценки показывают, что размеры Гало орбит составляют около 0,2 вдоль ЛХЛ и около 0,5 нормально к ЛЗЛ. Следует отметить важный факт. На первый взгляд однородное пространство в СЗЛ становится неоднородным при учете гравитации и вращения больших тел. Поэтому траектории движения космических аппаратов надо выбирать так, чтобы они не попадали в область точек либрации. Точки либрации существуют не только в СЗЛ, но и в системе Солнце – Земля. Поэтому траектории движения КА надо выбирать с учетом этих точек. Точки либрации существуют в системе Солнце – Планета земной группы (Марс). Поэтому гало-орбиты для можно использовать для наблюдения за спутниками планет как относительно устойчивые траектории. Относительность обусловлена тем, что на космический аппарат будет действовать притяжение Солнца, давление солнечного света.

Для точек  $L_4$ ,  $L_5$  существуют следующие оценки

$$r_4 = \left( \frac{R}{2} b, \frac{\sqrt{3}R}{2} \right)$$

$$r_5 = \left( \frac{R}{2}b, -\frac{\sqrt{3}R}{2} \right)$$

Точка либрации  $L_1$  удобна для расположения в ней космических окололунных станций. Если станция находится в точке либрации, то переход из точки либрации на гало-орбиту позволяет лететь в любую точку на поверхности Луны. Следует отметить, что наличие точек либрации является характеристикой наличия в космическом пространстве энергетических тоннелей. Эти тоннели обеспечивают минимизацию затрат энергии при космических перемещениях (Рисунок 6).



**Рис. 6.** Тоннельные переходы в Солнечной системе (рисунок из зарубежных публикаций)

Астрономы из Калифорнийского университета выяснили, что астероиды способны перемещаться в пространстве быстрее, чем дают баллистические расчеты. Результаты показали, что в Солнечной системе существуют «динамические каналы» (Рисунок 6), связанные друг с другом. Они простираются от пояса астероидов до Урана и далее. В таком «канале», объект под влиянием гравитации развивает высокую скорость и за несколько десятков лет способен всего преодолеть расстояние, на которое в ином случае ушли бы сотни тысяч или даже миллионы лет.

Система Солнце Земля оказывает влияние на систему Земля Луна. В Таблице 1 приведены характеристики двух двойных систем.

**Таблица 1.** Характеристики двойных систем.

Система	Солнце-Земля	Земля-Луна
Масса большего тела $M$ (кг)	Солнце $1.991 \times 10^{30}$	Земля $5.98 \times 10^{24}$
масса меньшего тела $m$ (кг)	Земля $5.98 \times 10^{24}$	Луна $7.35 \times 10^{22}$
Массовое отношение $m / (M + m)$	0,000 003	0,012
Расстояние $M - m$	149 600 000 км 1 AU	384.401 км
Расстояние $M - CM$	440 км	4667 км

Расстояние m – СМ	149,599,551 км 0,999 997 AU	379734 км
Расстояние L1 – m	1,501,557 км 0,010 037 AU	64499 км
Расстояние L2 – m	1,491,557 км 0,009 970 AU	58.006 км
Расстояние L3 – М	149,599,737 км 0,999 998 AU	381.678 км

В [Таблице 1](#) показаны характеристики двух двойных систем «Солнце-Земля» (ССЗ) и «Земля-Луна» (СЗЛ). Обращает внимание, что ССЗ точки либрации L1, L2 находятся в теле Земли. Это может привести к специфике Гало орбит. Не исключено что кольца мусора вокруг Земли находятся на гало орбитах системы *Солнце-Земля*.

### 3. Заключение

Проведенные исследования связаны с космической геоинформатикой ([Bondur, Tsvetkov, 2015](#)) и геодезической астрономией ([Gospodinov, 2018](#)). Движение Луны происходит вокруг барицентра, а не вокруг центра масс Земли. Вращение Система «Земля-Луна» связана с системой «Солнце-Земля», которая влияет на подлунное пространство и на околоземное пространство. Точки либрации делятся на устойчивые и неустойчивые. Устойчивые точки либрации выглядят привлекательным для строительства космических станций. Существует идея колонизации точек Лагранжа путем создания орбитальных станций в этих точках. Такие точки существуют у каждой планеты Солнечной системы. В треугольных точках либрации у Юпитера замечено скопление пыли. Не исключено, что точки либрации системы Солнце Земля способствуют образования колец мусора в околоземном пространстве.

### Литература

- [Тихонов, Неверов, 2015](#) – Тихонов В.Е., Неверов А.А. Движение Земли вокруг барицентра Солнечной системы как информационная основа долгосрочного прогнозирования урожайности // *Аграрный вестник Урала*. 2015. № 12 (142).
- [Цветков, 2017](#) – Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // *Перспективы науки и образования*. 2017. № 3(27). С. 13-19.
- [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.
- [Capdevila, Howell, 2018](#) – Capdevila L.R., Howell K.C. A transfer network linking Earth, Moon, and the triangular libration point regions in the Earth-Moon system // *Advances in Space Research*. 2018. Т. 62. № 7: 1826-1852.
- [Erdos, Turán, 1938](#) – Erdos P., Turán P. On Interpolation II: On the Distribution of the Fundamental Points of Lagrange and Hermite Interpolation // *Annals of Mathematics*. 1938. Pp. 703-724.
- [Gospodinov, 2018](#) – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.
- [Jantsch et al., 2019](#) – Jantsch P., Webster C.G., Zhang G. On the Lebesgue constant of weighted Leja points for Lagrange interpolation on unbounded domains // *IMA Journal of Numerical Analysis*. Т. 39. 2: 1039-1057.
- [Jorba-Cuscó, 2018](#) – Jorba-Cuscó M., Farrés A., Jorba A. Two periodic models for the Earth-Moon system // *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. Т. 4. P. 32.
- [Tyson, 2002](#) – Tyson N.G. The Five Points of Lagrange // *Natural history*. 2002. Т. 111. № 3. Pp. 44-48.
- [Zimovan, 2017](#) – Zimovan E.M. Characteristics and design strategies for near rectilinear halo orbits within the Earth-Moon system: diss. Purdue University, 2017.

## References

- 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.
- Capdevila, Howell, 2018** – Capdevila, L.R., Howell, K.C. (2018). A transfer network linking Earth, Moon, and the triangular libration point regions in the Earth-Moon system. *Advances in Space Research*. T. 62. 7: 1826-1852.
- Erdos, Turán, 1938** – Erdos, P., Turán, P. (1938). On Interpolation II: On the Distribution of the Fundamental Points of Lagrange and Hermite Interpolation. *Annals of Mathematics*. Pp. 703-724.
- Gospodinov, 2018** – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.
- Jantsch et al., 2019** – Jantsch, P., Webster, C.G., Zhang, G. (2019). On the Lebesgue constant of weighted Leja points for Lagrange interpolation on unbounded domains. *IMA Journal of Numerical Analysis*. T. 39. 2: 1039-1057.
- Jorba-Cuscó, 2018** – Jorba-Cuscó, M., Farrés, A., Jorba, A. (2018). Two periodic models for the Earth-Moon system. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. 4: 32.
- Tikhonov, Neverov, 2015** – Tikhonov, V.E., Neverov, A.A. (2015). Dvizhenie Zemli vokrug baritsentra Solnechnoi sistemy kak informatsionnaya osnova dolgosrochnogo prognozirovaniya urozhainosti [The movement of the Earth around the barycenter of the Solar system as an information basis for long-term forecasting of yield]. *Agrarnyi vestnik Urala*. 12 (142). [in Russian]
- Tsvetkov, 2017** – Tsvetkov, V.Ya. (2017). Model' informatsionnoi situatsii [Model of the information situation]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 3(27): 13-19. [in Russian]
- Tyson, 2002** – Tyson, N.G. (2002). The Five Points of Lagrange. *Natural history*. T. 111. 3: 44-48.
- Zimovan, 2017** – Zimovan, E.M. (2017) Characteristics and design strategies for near rectilinear halo orbits within the Earth-Moon system: diss. Purdue University.

## Исследование системы «Земля-Луна»

Виктор Петрович Савиных <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ), Российская Федерация  
<sup>b</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья исследует систему двух тел «Земля Луна». Показано, что как всякая система физических тел, данная система имеет общий центр масс или барицентр. Земля и Луна вращаются вокруг барицентра. Отмечена некорректность утверждения, что Луна вращается вокруг Земли. Луна вращается вокруг общего центра масс системы, который смещен по отношению к центру масс Земли, но находится в теле Земли. Оценены параметры орбит тел в системе Земля Луна. Высказана гипотеза что приливы и отливы происходят за счет суточного вращения Земли и смещения центра водной массы относительно барицентра. Описан феномен точек либрации в системе Земля Луна. Описаны устойчивые и неустойчивые точки либрации. Проведены расчеты точек либрации в системе Земля Луна и связанной с ней системы Солнце Земля. Отмечена целесообразность использования точек либрации для строительства космических станций. Высказана гипотеза, что точки либрации системы Солнце Земля могут способствовать образованию колец мусора в околоземном пространстве.

**Ключевые слова:** космические исследования, Земля, Луна, параметры орбит, барицентр, точки либрации, система Солнце Земля.

\* Корреспондирующий автор

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

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 40-47

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.40  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Stroboscopic Shooting of Comets

Viktor Ya. Tsvetkov <sup>a,\*</sup>, Igor' P. Deshko <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

<sup>b</sup> Russian Technological University (MIREA), Moscow, Russian Federation

### Abstract

The article examines the photogrammetric method for determining the characteristics of a moving body in space research. The object of research is comets. The method belongs to the field of space photogrammetry and space geoinformatics. A comet is considered as a moving body, but the technique can be used to track meteorites and other small celestial bodies. Stroboscopic shooting is proposed as a method of observation and measurement. A simple stroboscope in the form of a circle with a circular hole at the edge is proposed. Stroboscopic shooting allows not only photographing sections of the trajectory, but also linking them to time. Stroboscopic shooting allows you to change two parameters: shooting frequency and exposure time. These parameters are selected for the speed of the moving object and its distance from the shooting point. The basic diagram of stroboscopic shooting is described. Three qualitatively different sections of the trajectory of a moving object, which are obtained during stroboscopic shooting, are described. The plots characterize the approach of the subject to the shooting point. The most informative is the second section of the trajectory, which corresponds to the middle of the trajectory. A schematic diagram of photographing a moving object is described. Estimation formulas for determining the velocity of a space body are given. A practical example of shooting with an open shutter and using a stroboscope is given. The method allows one to study the dynamics of an object's movement, including its destruction or collision with another object. The method can be applied to survey ground objects, for example, aircraft or missiles of any range.

**Keywords:** space exploration, space mobile objects, space photogrammetry, space geoinformatics, spatial modeling, stroboscopic surveying, ballistic measurements, image timing.

### 1. Введение

Моделирование в космической фотограмметрии (Fang, 2011) и космической геоинформатике (Bondur, Tsvetkov, 2015) основано на переносе идей геометрии в область фотограмметрии. При исследовании подвижных объектов эффективно применять методы проективной геометрии (Gao, 2020). Они допускают обработку снимков с двумя фокусными расстояниями или снимков, имеющих два разных масштаба по разным осям координат. Классическая фотограмметрия (James, 2019) построена на предположении центрального преобразования, то есть обработки одного единственного пучка проектирующих лучей. Проективная геометрия (Calderbank et al., 2020; Skala et al., 2020) допускает обработку многократно преобразованных пучков проектирующих лучей. При исследовании

\* Corresponding author

E-mail addresses: [cvj2@mail.ru](mailto:cvj2@mail.ru) (V.Ya. Tsvetkov), [dip@mirea.ru](mailto:dip@mirea.ru) (I.P. Deshko)



подвижных объектов приходится сталкиваться со «смазом» изображения на снимке и ситуацией разных масштабов вдоль движения космического тела и перпендикулярно его движению. Такая связка называется анаморфотной (Баранов, Королевич, 2011) и требует специальных методов обработки.

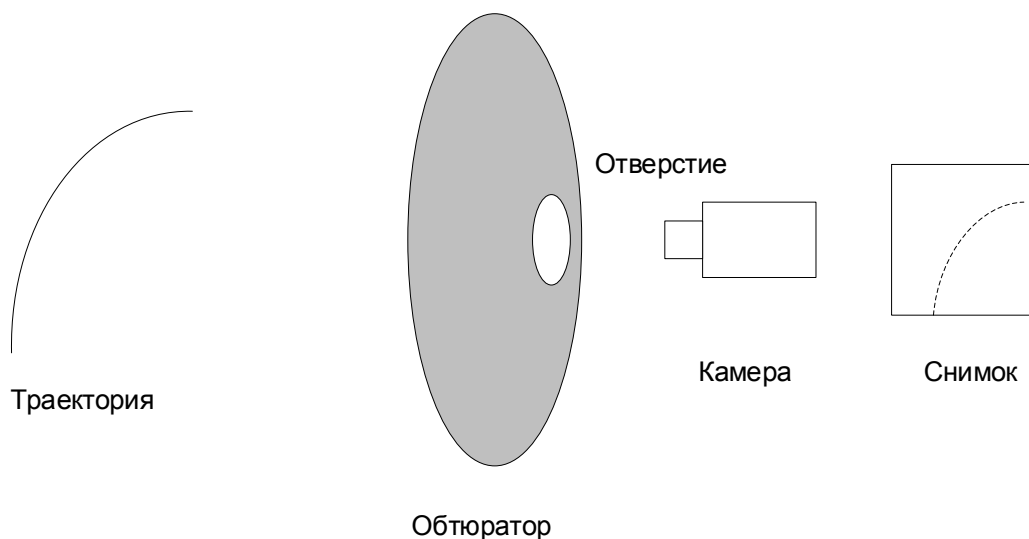
Можно ввести термин «проективная фотограмметрия» (projective photogrammetry) Этим термином можно обозначить область применения проективной геометрии в фотограмметрии при изучении подвижных объектов и анаморфотных снимков. В область проективной фотограмметрии попадает съемка и обработка снимков подвижных объектов. Снимки подвижных объектов содержат смаз изображения. Проективная геометрия и фотограмметрия (Цветков, 1979) исключает необходимость определения приближенных значений элементов ориентирования снимков и решения обратной засечки методов приближений. Проективная фотограмметрия решает обратную пространственную засечку путем использования системы линейных уравнений (Цветков, 2017). Проективная фотограмметрия позволяет решать прямую засечку не только по стереопаре снимков, а по любому их количеству причем снимки могут иметь разные элементы ориентирования.

Проективная фотограмметрия используется при изучении космических объектов, метеоритов, комет. В силу этого проективная фотограмметрия связана с космической фотограмметрией и космической геоинформатикой. Проективная фотограмметрия используется также для расчета траекторий наземных подвижных объектов и в отдельных случаях позволяет определять их динамические характеристики: скорость, частоту вращения (Цветков, 1997). Поэтому методы проективной фотограмметрии являются актуальными особенно при исследовании подвижных объектов в космическом пространстве.

## 2. Обсуждение и результаты

### Основы стробоскопического метода съемки.

Стробоскопический метод съемки комет и малых небесных тел имеет два варианта. Первый вариант основан на расчетах по снимкам, полученным с применением только одной фотокамеры (Господинов, 2021). Второй вариант основан на использовании снимков, полученных с двух фотокамер. На Рисунке 1 приведена схема стробоскопической съемки.



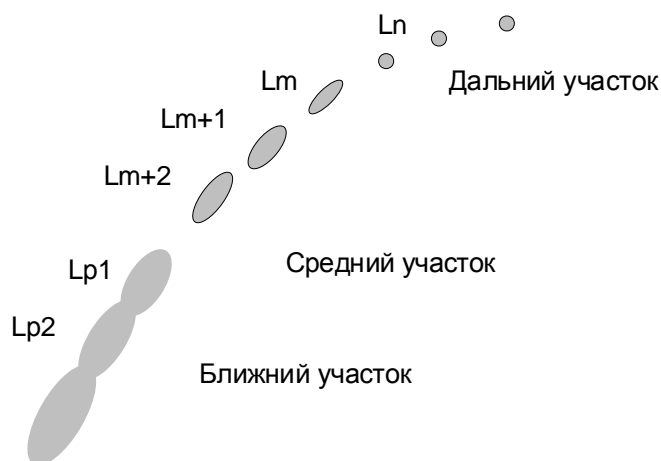
**Рис. 1.** Стробоскопическая съемка траектории подвижного объекта.

На Рисунке 1 показано, что в пространстве расположен объект, который перемещается по заданной траектории. Стробоскоп или обтюратор является прерывателем изображения на снимке. Если его убрать, то в режиме с открытым затвором на снимке получается сплошная линия, характеризующая плоскую проекцию траектории подвижного объекта. Простейший стробоскоп есть диск с отверстием (Рисунок 1).

При съемке диск вращается с периодом  $T$ . Кроме этой характеристики существует другая. Это время экспозиции  $\tau$ , которое определяется периодом прохождения отверстия

стробоскопа перед камерой. В этот период на снимке фиксируется движение объекта по траектории. Период  $T_1 = T - \tau$  характеризует разрыв на изображении.

В результате стробоскопической съемки на снимке вместо сплошной линии получают дискретное изображение движения тела. Особенность стробоскопической съемки в том, что можно задавать и управлять временем  $T$  и временем  $\tau$ . В силу таких условий каждый штриха на снимке с со стробоскопом характеризуется периодом  $T$  временем экспозиции фотографирования  $\tau$ . Периодом  $T$  позволяет определить частоту съемки и оценить или определить скорость движения подвижного объекта. Типовое изображение траектории подвижного объекта, полученное при использовании стробоскопической съемки, показано на [Рисунке 2](#).



**Рис. 2.** Типовое изображение подвижного космического объекта.

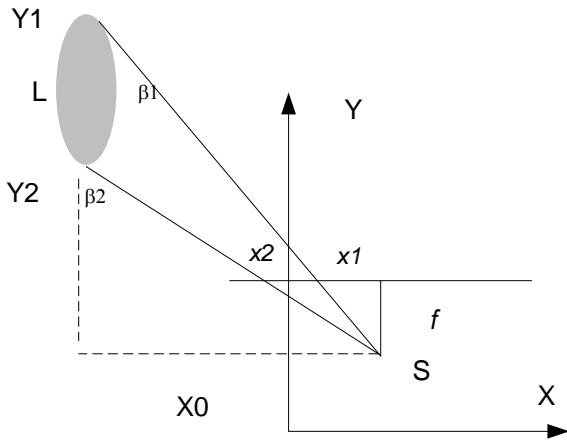
Траектория кометы на [Рисунке 2](#), имеет три участка, имеющих качественное различие. В общем случае эта типовая траектория характеризует любые подвижные космические объекты. Поэтому рассуждения применимы к любым подвижным космическим объектам.

Первый участок (обозначен  $L_n$ ) характеризуется значительным удалением от фотокамеры. Он характеризуется круговыми изображениями объектов. Второй участок характеризуется приближением космического объекта и появлением смаза изображения. В силу это изображения кругов заменяются эллипсами, между которыми имеются разрывы. На снимке этот участок изображается в виде «штрихов» и разрывов между ними. На [Рисунке 2](#) его описывают участки  $L_m$ .

Третий участок (обозначен  $L_p$ ) характеризуется значительным приближением к фотокамере. В силу этого эллиптические участки начинают перекрываться. На снимке он изображается в виде сплошной фигуры с утолщением и сужением.

По такому снимку можно оценить скорость подвижного объекта. Используя принцип относительности, можно считать камеру космического аппарата неподвижной, а движение космического объекта определится как движение относительно камеры. Если оно встречное, то относительная скорость будет увеличена (штрихи будут больше). Если движение КА и небесного тела однонаправленно, то относительная скорость будет уменьшена (штрихи будут короче). На практике встречаются участки  $L_n$  и  $L_m$ .

Фотосъемку производят так, чтобы движение объекта условно было направлено по оси  $Y$ . Если это затруднительно, то выбирают направление осей искусственно. Выбирают правую систему координат. План съемки объекта с фотокамеры с обтюратором приведен на [Рисунке 3](#).



**Рис. 3.** Схема фотосъемки

На [Рисунке 3](#)  $Y_1$ ,  $Y_2$  – начало и конец эллиптического участка,  $L$  – длина эллиптического участка. Для каждого штриха она своя и условно обозначается как  $Li$ . Точки начала и конца эллиптического участка соответствуют времени экспозиции  $\tau$ . Этот интервал позволяет оценить условную скорость объекта  $V_i$  по формуле:

$$V_i = L_i / \tau \quad (1)$$

В выражении (1)  $V_i$  – скорость на  $Li$ -ом участке,  $Li$  – условная длина отрезка, проходимая подвижным объектом за время экспозиции. На снимке этот отрезок измеряется по координатам  $x$ . Точки начала и конца эллиптического участка на снимке имеют координаты  $x_1$ ,  $x_2$ . При известном фокусном расстоянии  $f$ , можно оценить углы на начало и конец эллиптического участка  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ([Рисунок 2](#)).

$$\text{tg}\beta_1 = x_1 / f = X_0 / Y_1, \quad (2)$$

$$\text{tg}\beta_2 = x_2 / f = X_0 / Y_2 \quad (3)$$

$$Y_1 = X_0 \text{ctg}\beta_1 \quad (4)$$

$$Y_2 = X_0 \text{ctg}\beta_2 \quad (5)$$

$$L = Y_1 - Y_2 = X_0 (\text{ctg}\beta_1 - \text{ctg}\beta_2) \quad (6)$$

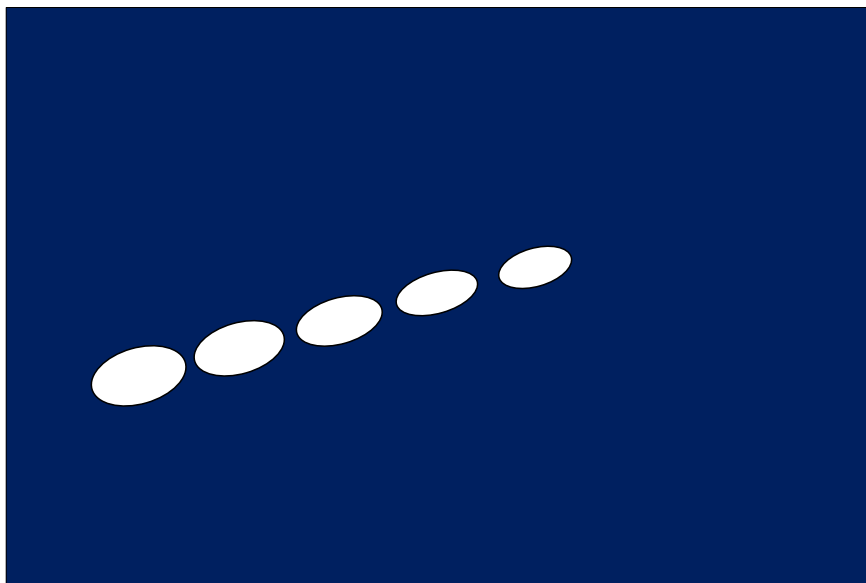


**Рис. 4.** Изображение кометы в режиме выдержка

Формула (6) является оценочной. Более точное значение отрезка  $L$  получается при использовании вычислений по паре снимков. Тем не менее, она дает возможность получать оценочные значения скорости подвижного объекта. Например, при движении КА относительно кометы при съемке с обтюратором и примерном расстоянии до кометы можно оценивать ее относительную скорость. Если известна скорость объекта, то можно оценивать расстояние  $X_0$  до него. На [Рисунке 4](#) приведено изображение кометы на снимке с открытым затвором.

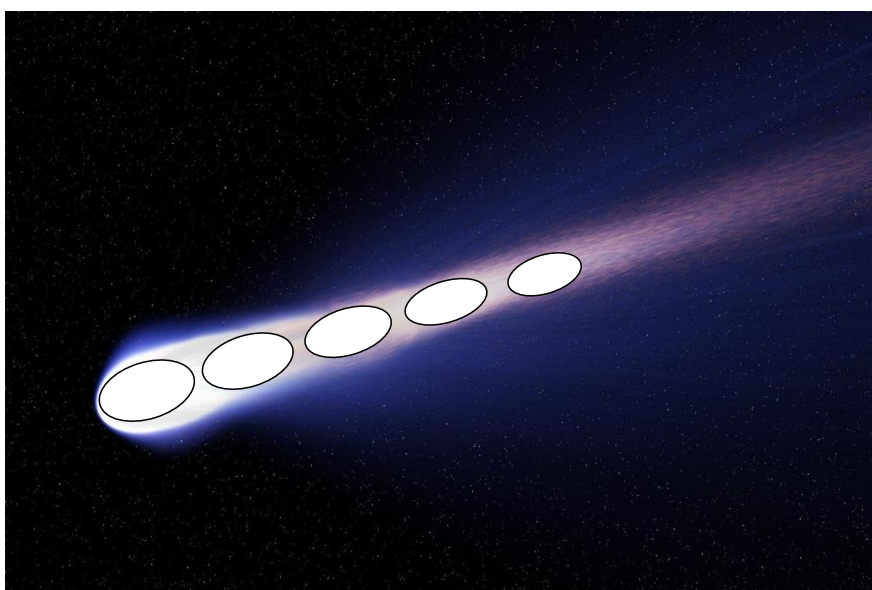
Изображение от камеры с открытым затвором ([Рисунок 4](#)) представляет собой непрерывную линию с разной толщиной.

На [Рисунке 5](#) приведено изображение другого типа, полученное при помощи стробоскопа.



**Рис. 5.** Фото со стробоскопической съемки

Изображение на [Рисунке 5](#) обработано, поэтому фон искусственный. На [Рисунке 6](#) наложение [Рисунка 4](#) на [Рисунок 5](#).



**Рис. 6.** Наложение стробоскопического изображения на траекторию движения

Обращает на себя внимание, что при стробоскопической съемке удаленные участки получаются более яркими. Это обусловлено тем, что при съемке с открытым затвором ближние участки забивают светом более дальние.

### 3. Заключение

Анализ различных случаев съемки показывает целесообразность введения термина «информационная ситуация» (Tsvetkov, 2012). Информационная ситуация при съемке исчерпывающе определяет условия съемки и позволяет сравнивать разные ситуации съемки между собой. Предложенный метод применим для исследования не только комет, но и других космических подвижных тел. В земных условиях он применим для оценки параметров траекторий ракет любой дальности. Он применим при использовании скорости тела за счет измерения эффекта Доплера. Предложенный метод применим для оценки площади сечения комет (Tsvetkov, 2017) при помощи метода Монте Карло. Привязка точек траектории космического объекта при использовании стробоскопической съемки может производиться с высокой частотой, что обусловлено отсутствием синхронизации съемки для двух камер. Применение методов математической обработки позволяет определять изменения траектории, например при столкновении объектов или при их разрушении. Последнее часто наблюдается при входе астероидов в земную атмосферу.

### Литература

- Баранов, Королевич, 2011 – Баранов В.Н., Королевич В.В. Пример оценки точности модели EGM 2008 по астрономо-геодезическим данным // *Науки о Земле*. 2011. № 2. С. 39-43.
- Цветков, 1979 – Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы / В сборнике. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск, 1979. С. 56-63.
- Цветков, 1997 – Цветков В.Я. Определение динамических характеристик фотограмметрическим методом // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1997. №1. С. 73-76.
- Цветков, 2017 – Цветков В.Я. Алгоритмы решения прямой и обратной пространственной задачи // *Информатизация и связь*. 2017. № 2. С. 71-75.
- 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.
- Calderbank et al., 2020 – Calderbank D. et al. C-projective geometry // *American Mathematical Society*. 2020. Т. 267. № 1299.
- Gospodinov, 2021 – Gospodinov S.G. Determination of the Spatial Coordinates of the Planet Using One Camera // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2021. 7(1): 13-19.
- Fang, 2011 – Fang Y. et al. Application modes analysis of high resolution large plane array digital camera in space photogrammetry // *Journal of Geomatics Science and Technology*. 2011. Т. 4.
- Gao, 2020 – Gao C. et al. Generalizing spatial transformers to projective geometry with applications to 2d/3d registration / *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer, Cham, 2020. Pp. 329-339.
- James, 2019 – James M.R. et al. Guidelines on the use of structure-from-motion photogrammetry in geomorphic research // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2019. Т. 44. № 10. Pp. 2081-2084.
- Skala et al., 2020 – Skala V., Karim S.A.A., Kadir E.A. Scientific computing and computer graphics with GPU: application of projective geometry and principle of duality // *Int. J. Math. Comput. Sci*. 2020. Т. 15. № 3. Pp. 769-777.
- Tsvetkov, 2012 – Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012. 12-1 (36): 2166-2170.
- 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.

### References

- Baranov, Korolevich, 2011 – Baranov, V.N., Korolevich, V.V. (2011). Primer ocenki tochnosti modeli EGM 2008 po astronomo-geodezicheskim dannym [An example of evaluating the accuracy

of the EGM 2008 model based on astronomical and geodetic data]. *Nauki o Zemle*. 2: 39-43. [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.

[Calderbank et al., 2020](#) – Calderbank, D. et al. (2020). C-projective geometry. *American Mathematical Society*. 267: 1299.

[Fang, 2011](#) – Fang, Y. et al. (2011). Application modes analysis of high resolution large plane array digital camera in space photogrammetry. *Journal of Geomatics Science and Technology*. 4.

[Gao, 2020](#) – Gao, C. et al. (2020). Generalizing spatial transformers to projective geometry with applications to 2d/3d registration. *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer, Cham. Pp. 329-339.

[Gospodinov, 2021](#) – Gospodinov, S.G. (2021). Determination of the Spatial Coordinates of the Planet Using One Camera. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 7(1): 13-19.

[James, 2019](#) – James, M.R. et al. (2019). Guidelines on the use of structure-from-motion photogrammetry in geomorphic research // *Earth Surface Processes and Landforms*. 44(10): 2081-2084.

[Skala et al., 2020](#) – Skala, V., Karim, S.A.A., Kadir, E.A. (2020). Scientific computing and computer graphics with GPU: application of projective geometry and principle of duality. *Int. J. Math. Comput. Sci*. 15(3): 769-777.

[Tsvetkov, 1979](#) – Tsvetkov, V.Ya. (1979). Metodika obrabotki snimkov nepravil'noj formy [Technique for processing images of irregular shape]. *V sbornike. Razvitie i ispol'zovanie aerokosmicheskikh metodov izucheniya prirodnyh yavlenij i resursov*. Novosibirsk. Pp. 56-63. [in Russian]

[Tsvetkov, 1997](#) – Tsvetkov, V.Ya. (1997). Opredelenie dinamicheskikh harakteristik fotogrammetricheskim metodom [Determination of dynamic characteristics by the photogrammetric method]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka*. 1: 73-76. [in Russian]

[Tsvetkov, 2012](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2012). Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European researcher*. 12-1 (36):2166-2170.

[Tsvetkov, 2017](#) – Tsvetkov V.Ya. (2017). Algoritmy resheniya pryamoj i obratnoj prostranstvennoj zadachi [Algorithms for solving direct and inverse spatial problems]. *Informatizaciya i svyaz'*. 2: 71-75. [in Russian]

[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.

## Стробоскопическая съёмка комет

Виктор Яковлевич Цветков <sup>a, \*</sup>, Игорь Петрович Дешко <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Научно-исследовательский и проектно конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Российская Федерация

<sup>b</sup> Российский технологический университет (МИРЭА), Российская Федерация

**Аннотация.** Статья исследует фотограмметрический метод определения характеристик движущегося тела в космических исследованиях. Объектом исследования являются кометы. Метод относится к области космической фотограмметрии и космической геоинформатики. В качестве движущегося тела рассмотрена комета, но методика может быть использована для отслеживания метеоритов и других малых небесных тел. В качестве метода наблюдения и измерения предлагается стробоскопическая съёмка. Предложен простой стробоскоп в виде круга с круговым отверстием на краю. Стробоскопическая съёмка позволяет не только фотографировать участки траектории, но и привязывать их ко времени. Стробоскопическая съёмка позволяет менять два параметра: частоту съёмки и время

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [cvj2@mail.ru](mailto:cvj2@mail.ru) (В.Я. Цветков), [dip@mirea.ru](mailto:dip@mirea.ru) (И.П. Дешко)

экспозиции. Эти параметры выбирают под скорость подвижного объекта и его расстояние от точки съемки. Описана принципиальная схема стробоскопической съемки. Описаны три качественно разных участка траектории подвижного объекта, которые получают при стробоскопической съемке. Участки характеризуют приближение объекта съемки к точке съемки. Наиболее информативным является второй участок траектории, который соответствует середине траектории. Описана принципиальная схема фотосъемки подвижного объекта. Приведены оценочные формулы для определения скорости космического тела. Приведен практически пример съемки с открытым затвором и с использованием стробоскопа. Метод позволяет исследовать динамику движения объекта, включая его разрушение или столкновение с другим объектом. Метод может применен для съемки наземных объектов, например, самолетов или ракет любой дальности.

**Ключевые слова:** космические исследования, космические подвижные объекты, космическая фотограмметрия, космическая геоинформатика, пространственное моделирование, стробоскопическая съемка, баллистические измерения, временная привязка изображения.

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA  
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A  
 Has been issued since 2015.  
 E-ISSN: 2413-7499  
 2022. 8(1): 48-53

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.48  
<https://rjar.cherkasgu.press>



## Determination of Relative Coordinates based on Rangefinder Measurements from the Spacecraft

Victor Ya. Tsvetkov <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

### Abstract

The article relates to the field of space geoinformatics and comparative planetology. The difference between space geoinformatics and terrestrial geoinformatics is shown. The great connection of space geoinformatics with geometry is noted in comparison with terrestrial geoinformatics. The most common methods of planetary exploration are space imagery and radar sensing. Laser sensing is mainly used for ranging only. The article proposes to use laser rangefinders for a new purpose. The article proposes a new method for measuring coordinates on the planet's surface, called Trinitarian. The technique allows, on the basis of measuring the distance to a point, to determine two more of its coordinates. The technique is applicable when the spacecraft moves in the gravitational field of the planet as an artificial satellite. The coordinates are called conditional because they are not measured in the coordinate system of the planet's surface or in the system of its center of mass, but in the coordinate system associated with the trajectory of the spacecraft. An analogy between this technique and the measurement of coordinates using global navigation satellite systems is shown. Coordinates are measured by measuring the range from two points of the spacecraft trajectory and measuring the baseline on the trajectory between the observation points. Calculation formulas are given and errors are analyzed. The relativity of coordinates is that the technique allows you to measure only two coordinates out of three. The technique is compared with the terrestrial analogue of the global navigation satellite system. The similarities and differences between the proposed Trinitarian methodology and the existing global navigation satellite system are shown. Further improvement of the methodology is proposed.

**Keywords:** space exploration, coordinate systems, determination of coordinates, spacecraft, trajectory, trinitarian model, pyramidal model, relative coordinates.

### 1. Введение

В настоящее время для исследования космического пространства все шире применяют земные науки. Новой наукой, объединяющей земные науки и космическое исследование является космическая геоинформатика (Bondur, Tsvetkov, 2015, Савиных, 2016). Эта наука развивается и ее методы применимы для исследования разных планет. Космическая геоинформатика близка сравнительной планетологии (Bean et al., 2017, Glassmeier, 2020). Это обусловлено тем, что Космическая геоинформатика ориентирован на исследование любых планет, а не только Земли. Одной из основных задач сравнительной планетологии (Tsvetkov, 2018) и космической геоинформатики является определение координат точек на

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



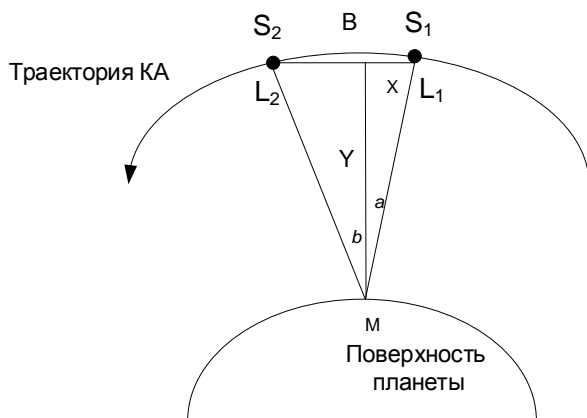
поверхности планеты (Barmin et al., 2014) с борта космического аппарата. Космическая геоинформатика в отличие от земной геоинформатики (Савиных, Цветков, 2013) использует преимущественно дистанционные методы измерения без контакта с поверхностью планеты. Космическая геоинформатика использует методы геометрии и методы определения координат, применяемые в фотограмметрии и геодезии. В этих науках принято называть определение координат засечкой (Yang, 2021). Одной из основных задач при исследовании планет с борта космического аппарата (КА) является исследование геометрии планет и координирование точек на их поверхностях. Наиболее распространенными методами исследования планет являются космическая съемка и радиолокационное зондирование. Опыт исследования околоземного космического пространства (Barmin, et al., 2014) может быть перенесен на исследование других планет. Наряду с этими технологиями существует технология лазерного зондирования (Fukuchi, 2012). Она также применима для координирования точек и данная статья предлагает метод решения этой задачи. Однако методика лазерного зондирования (Халыков, 2018) является новой и для нее разработано мало технологий по расширенному ее использованию. Обычная методика лазерного зондирования определяет только дальности. В данной статье предлагается использовать лазерные дальномеры по новому назначению. Методика позволяет на основе измерения дальности до точки, определять еще две ее координаты.

## 2. Обсуждение и результаты

Постановка задачи включает следующие условия: космический аппарат или искусственный спутник планеты движется в поле тяготения планеты и участвует в ее вращении вокруг оси. Дополнительно он перемещается над ее поверхностью и периодически зондирует выбранные точки с помощью лазерного зонда или лидара. Условием для применения такой методики является наличие на поверхности планеты хорошо опознаваемых точек – марок. Если таких точек нет, то марка может быть установлена с борта космического аппарата путем ее опускания и посадки на поверхность планеты.

На космическом аппарате (КА) установлена аппаратура, координирующая его относительное перемещение по траектории. Это означает, что моменты времени зондирования планеты координаты КА и конкретно лазерного зонда известны и можно измерить базис между двумя точками наблюдения. Такое условие означает, что для двух точек траектории можно задавать локальную систему координат, относительно которой можно определять координаты точек планеты. Данная методика позволяет определять координаты планеты не в планетоцентрической системе, не в топоцентрической системе, а в локальной системе, связанной с орбитой космического аппарата.

Целесообразно использовать для описания методики термин информационная ситуация (Tsvetkov, 2012). На Рисунке 1 приведена информационная ситуация наблюдения точки М на поверхности планеты с траектории космического аппарата или спутника.  $S_1, S_2$  – точки на траектории, задающие базис наблюдения,  $V$  – базис наблюдения,  $L_1, L_2$  – расстояния от точек наблюдения до наблюдаемой точки М.



**Рис. 1.** Схема дальномерного наблюдения точки на поверхности планеты.

На [Рисунке 1](#) ( $a, b$ ) – углы из точки М (на поверхности планеты) в точки наблюдения  $S_2, S_1$  на орбите КА. Начало координат условно совпадает с точкой  $S_1$ . Координата  $Y$  есть расстояние по нормали к базису от точки М на поверхности планеты, координата  $X$  есть координата точки М относительно начала  $S_1$ .

Суть методики состоит в расчете площади треугольника  $S_1, S_2, M$  двумя способами: через периметр и через высоту и основание.

Для расчетов используем известные геометрические правила. Площадь треугольника  $S_1, S_2, M$  ([Рисунок 1](#)) можно определить через его периметр при известных длинах сторон  $B, L_1, L_2$ .

$$S = (P (P-B) (P-L_1) (P-L_2))^{1/2} \quad (1)$$

В выражении (1)  $P$  – полупериметр,  $B$  – базис измерения,  $L_1$  – расстояние от первой точки измерения,  $L_2$  – расстояние от второй точки измерения.

Площадь треугольника  $S_1, S_2, M$  можно определить также через его основание  $B$  и высоту  $Y$  (нормаль)

$$S = 1/2 B Y \quad (2)$$

Выражение (1) позволяет определить площадь  $S$  по результатам наблюдений с орбиты. Зная площадь, из выражения (2) можно определить нормаль между базисом и точкой наблюдения  $M$ .

$$Y = 2 S / B \quad (3)$$

Одновременно  $Y$  и  $X$  являются координатами точки  $M$  в прямоугольной системе координат, начало которой находится в точке  $S_1$ , ось  $OX$  направлена вдоль  $B$ , а ось  $OY$  направлена по нормали к  $B$ .

При известных  $Y$  и  $S$  можно определить угол  $a$  между нормалью и стороной  $L_1$ .

$$\cos(a) = Y / L_1 \quad (4)$$

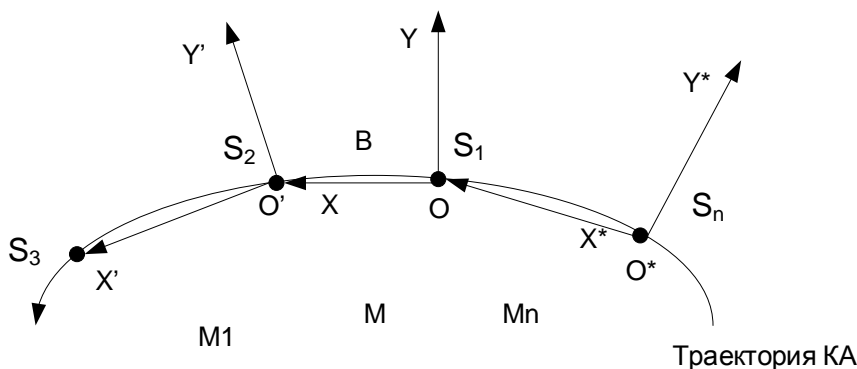
Координата  $X$  точки  $M$  определится как

$$X = L_1 \sin(a) = Y \operatorname{tg}(a) \quad (5)$$

Или с помощью теоремы Пифагора

$$X = (L_1^2 - Y^2)^{1/2}$$

Наблюдения могут быть многократными. На [Рисунке 2](#) показана информационная ситуация многократных измерений. В точке  $S_2$  выполняют два измерения на точку  $M$  и на точку  $M_1$ . Для первого измерения существует точка  $M$ , для второго точка  $M_1$ . В точке  $S_2$  производят измерение точки  $M$  и точки  $M_1$ . Система координат  $XOY$  в точке  $S_1$  преобразуется в систему координат  $X'O'Y'$  в точке  $S_2$ .



**Рис. 2.** Многократное измерение точек поверхности планеты

Фактически локальная система координат на траектории поворачивается, скользя по траектории. Измерения могут быть замкнутыми, если КА движется по орбите вокруг планеты. Наклон оси ОХ можно определить, следовательно, координаты всех точек можно пересчитать в единую систему координат. Такой пересчет осуществляется поэтапно.

Координаты точки М1 в новой ХОУ и старой Х'О'У' системе координат связаны соотношениями:

$$x_{M1} = x' \cos(\varphi_1) - y' \sin(\varphi_1) \quad (6)$$

$$y_{M1} = x' \sin(\varphi_1) + y' \cos(\varphi_1) \quad (7)$$

В выражениях (6), (7)  $x_{M1}$ ,  $y_{M1}$  – координаты точки М1 в новой системе ХОУ;  $x'$ ,  $y'$  – координаты этой же точки в системе измерений Х'О'У'. Угол  $\varphi_1$  это угол поворота системы координат Х'О'У' относительно системы координат ХОУ. Таких углов может быть много. Столько сколько измерений точек, поэтому номер 1 означает первый угол поворота.

Выражения (6), (7) рекурсивно применяют ко всем координатам точек измерений М1, М2, ...Мn. Изменяется угол  $\varphi$ .

Таким образом, можно измерять сечение планеты бесконтактным методом. Недостаток метода в том, что он определяет только две координаты. Для измерения третьей координаты необходима дополнительная методика.

Предлагаемую методику определения координат можно назвать «плоской тринитарной» или «тринитарной», поскольку она использует теорию плоских треугольников.

### 3. Заключение

Предлагаемая методика позволяет измерять относительные координаты точек на поверхности планеты в системе координат, связанной с орбитой космического аппарата. Земным аналогом такой методики является глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) ГЛОНАСС или GPS. Методику ГНСС можно назвать «пирамидальной» поскольку засечка моделирует четырехугольную пирамиду. В четырехугольном основании пирамиды находятся спутники, в вершине пирамиды находится определяемая точка. Общим для обеих методик является то, что выбирается система координат в околопланетном пространстве. Для ГНСС эта система связана с центром масс Земли и системой спутников на фиксированных замкнутых орбитах относительно планеты (Земля). Для предлагаемой методики эта система связана с точками траектории замкнутой или не замкнутой орбиты космического аппарата. Принципиальным геометрическим различием является то, что наземные системы ГНСС содержат более двух десятков спутников и засечку (определение трех координат на поверхности планеты) решают дальномерным способом по данным одновременного наблюдения четырех спутников (основание четырехугольной пирамиды). В тринитарной методике используется один космический аппарат, но определяют не три, а только две координаты для базиса из двух точек наблюдения с орбиты. Техническая реализация метода также различается. В технологии ГНСС используется радиоканал и суперпозиция частот, получаемых приемником на поверхности планеты. То есть приемник на поверхности планеты является обязательным условием методики ГНСС. В предлагаемой тринитарной методике приемник не нужен, но нужна хорошо опознаваемая точка на поверхности планеты. Развитием методики может стать определение координат с пары космических аппаратов, движущихся по разным орбитам, но имеющих возможность определения взаимного положения на орбите. В этом случае можно получать трехмерные координаты на поверхности планеты.

### Литература

Савиных, Цветков, 2013 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформатика как система наук // *Геодезия и картография*. 2013. 4: 52-57

Савиных, 2016 – Савиных В.П. (2016). Развитие космической геоинформатики // *Славянский форум*. 2(12): 223-230.

Халыков, 2018 – Халыков Е.Е. Применение методик лазерного сканирования и геоинформационных систем при изучении овражной эрозии (Казахстан) // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2018. 5.

[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. 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): 49-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

[Bean et al., 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. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.

[Fukuchi, 2012](#) – Fukuchi T., Shiina T. (ed.). Industrial applications of laser remote sensing. – Bentham Science Publishers, 2012.

[Glassmeier, 2020](#) – Glassmeier K.H. Solar system exploration via comparative planetology // *Nature Communications*. 2020. 11(1): 1-4.

[Tsvetkov, 2012](#) – Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012. 12-1(36): 2166-2170.

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

[Yang, 2021](#) – Yang B. et al. Approaches for exploration of improving multi-slice mapping via forwarding intersection based on images of UAV oblique photogrammetry // *Computers & Electrical Engineering*. 2021. 92: 107135.

## 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 et al., 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.

[Fukuchi, 2012](#) – Fukuchi T., Shiina T. (2012). (ed.). Industrial applications of laser remote sensing. Bentham Science Publishing.

[Glassmeier, 2020](#) – Glassmeier, K.H. (2020). Solar system exploration via comparative planetology. *Nature Communications*. 11(1): 1-4.

[Halykov, 2018](#) – Halykov, E.E. (2018). Primenenie metodik lazernogo skanirovaniya i geoinformacionnyh sistem pri izuchenii ovrazhnoj erozii (Kazahstan) [Application of laser scanning techniques and geoinformation systems in the study of gully erosion (Kazakhstan)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 5. [in Russian]

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

[Savinyh, Tsvetkov, 2013](#) – Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Geoinformatika kak sistema nauk [Geoinformatics as a system of sciences]. *Geodeziya i kartografiya*. 4: 52-57. [in Russian]

[Tsvetkov, 2012](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2012). Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European researcher*. 12-1 (36): 2166-2170.

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

[Yang, 2021](#) – Yang, B. et al. (2021). Approaches for exploration of improving multi-slice mapping via forwarding intersection based on images of UAV oblique photogrammetry. *Computers & Electrical Engineering*. 92: 107135.

## Определение относительных координат на основе дальномерных измерений с КА

Виктор Яковлевич Цветков<sup>a, \*</sup>

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

**Аннотация.** Статья относится к области космической геоинформатики и сравнительной планетологии. Показано отличие космической геоинформатики от земной геоинформатики. отмечена большая связь космической геоинформатики с геометрией по сравнению с земной геоинформатикой. Наиболее распространенными методами исследования планет являются космическая съемка и радиолокационное зондирование. Лазерное зондирование применяют в основном только для измерения дальности. Статья предлагается использовать лазерные дальномеры по новому назначению. Статья предлагает новую методику измерения координат на поверхности планеты, названную тринитарной. Методика позволяет на основе измерения дальности до точки, определять еще две ее координаты. Методика применима при движении космического аппарата в поле тяготения планеты как искусственного спутника. Координаты называют условными, поскольку они измеряются не в системе координат поверхности планеты или в системе ее центра масс, а в системе координат, связанной с траекторией космического аппарата. Показана аналогия между данной методикой и измерением координат с помощью глобальных навигационных спутниковых систем. Координаты измеряют по измерениям дальности с двух точек траектории космического аппарата и измерению базиса на траектории между точками наблюдения. Даются расчетные формулы и анализируются погрешности. Относительность координат в том, что методика позволяет измерять только две координаты из трех. Методика сравнивается с земным аналогом глобальной навигационной спутниковой системой. Показано сходство и различие между предлагаемой тринитарной методикой и существующей глобальной навигационной спутниковой системой. Предлагается дальнейшее совершенствование методики.

**Ключевые слова:** космические исследования, системы координат, определение координат, космический аппарат, траектория, тринитарная модель, пирамидальная модель, относительные координаты.

---

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