



Вариации углового момента L_z как индикатор хаотичности орбит шаровых скоплений в центральной области Галактики с баром

А.Т. Байкова¹, А.А. Смирнов¹, В.В. Бобылев¹

¹ ГАО РАН

Поступила в редакцию 11 сентября 2025 / Принята к публикации 1 октября 2025

Аннотация

Показано, как нарушение инвариантности Z -компоненты углового момента орбиты L_z в неосесимметричном потенциале Галактики с баром может служить показателем степени орбитальной хаотичности шаровых скоплений в центральной области Галактики. При этом чем выше вариации L_z орбиты за определенный период времени, тем выше хаотичность орбиты. По-существу предложен новый метод анализа орбитальной динамики – регулярной или хаотической. Показан высокий уровень корреляции результатов классификации орбит предложенным методом с результатами классификации другими методами. В итоге произведено разделение выборки из 45 шаровых скоплений в центральной области Галактики радиусом 3.5 кпк на регулярные, хаотические и слабохаотические.

Ключевые слова: Галактика (Млечный Путь), бар, шаровые скопления, хаотическая и регулярная орбитальная динамика

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа по-существу является продолжением работ А. Т. Bajkova, A. A. Smirnov и V. V. Bobylev, 2024a; A. T. Bajkova, A. A. Smirnov и V. V. Bobylev, 2024b; A. Bajkova, A. Smirnov и V. Bobylev, 2025a; A. Bajkova, A. Smirnov и V. Bobylev, 2025b, посвященных исследованию орбитальной динамики – регулярной или хаотической – шаровых скоплений в центральной области Галактики. Как и в прежних работах, выборка включает 45 шаровых скоплений в центральной области Галактики радиусом 3.5 кпк. Для формирования 6D-фазового пространства, требуемого для интегрирования орбит, использованы самые точные на сегодняшний день астрометрические данные со спутника Gaia (Eugene Vasiliev и Holger Baumgardt, 2021), а также новые уточненные средние расстояния (H. Baumgardt и E. Vasiliev, 2021). Приняты следующие, наиболее реалистичные параметры бара, известные из литературы (Eugene Vasiliev и Holger Baumgardt, 2021; H. Baumgardt и E. Vasiliev, 2021): масса $10^{10} M_{\odot}$, длина большой полуоси 5 кпк, угол поворота оси бара 25° , скорость вращения 40 км/с/кпк.

Целью данной работы является установление связи между вариациями Z -компоненты углового момента орбиты L_z во времени со степенью хаотизации орбиты ШС нашей выборки в потенциале с принятым центральным врачающимся баром, в котором величина L_z уже не является инвариантом, как в осесимметричном потенциале.

Работа структурирована следующим образом. В первом разделе дается краткое описание принятых моделей потенциала – осесимметричного потенциала и неосесимметричного потенциала, включающего бар. Во втором разделе даются ссылки на использованные астрометрические данные, а также на способ формирования выборки ШС. В третьем разделе дается описание предлагаемого метода оценки регулярности/хаотичности движения на основе вычисления вариации L_z

*e-mail:bajkova@gaoran.ru

за определенный период времени. В четвертом разделе дается анализ полученных результатов и установление связи между новым подходом и предложенными и исследованными в более ранних работах. В ЗАКЛЮЧЕНИИ сформулированы основные результаты работы.

1 МОДЕЛЬ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

1.1 Осесимметричный потенциал

Осесимметричный гравитационный потенциал Галактики, традиционно используемый нами (см., например, A. T. Bajkova, A. A. Smirnov и V. V. Bobylev, 2024b) для интегрирования орбит ШС, представляется в виде суммы трех составляющих — центрального сферического балджа $\Phi_b(r(R, Z))$, диска $\Phi_d(r(R, Z))$ и массивного сферического гало темной материи $\Phi_h(r(R, Z))$:

$$\Phi(R, Z) = \Phi_b(r(R, Z)) + \Phi_d(r(R, Z)) + \Phi_h(r(R, Z)). \quad (1)$$

Здесь используется цилиндрическая система координат (R, ψ, Z) с началом координат в центре Галактики. В прямоугольной системе координат (X, Y, Z) с началом координат в центре Галактики расстояние до звезды (сферический радиус) будет $r^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2 + Z^2$, при этом ось X направлена от Солнца к галактическому центру, ось Y — перпендикулярно к оси X в сторону вращения Галактики, ось Z — перпендикулярно к галактической плоскости (X, Y) в сторону северного галактического полюса. Гравитационный потенциал выражается в единицах $100 \text{ км}^2/\text{с}^2$, расстояния — в кпк, массы — в единицах галактической массы $M_{gal} = 2.325 \times 10^7 M_\odot$, соответствующей гравитационной постоянной $G = 1$.

Осесимметричные потенциалы балджа $\Phi_b(r(R, Z))$ и диска $\Phi_d(r(R, Z))$ представляются в форме, предложенной в работе Miyamoto и Nagai, 1975:

$$\Phi_b(r) = -\frac{M_b}{(r^2 + b_b^2)^{1/2}}, \quad (2)$$

$$\Phi_d(R, Z) = -\frac{M_d}{\left[R^2 + \left(a_d + \sqrt{Z^2 + b_d^2} \right)^2 \right]^{1/2}}, \quad (3)$$

где M_b, M_d — массы компонент, b_b, a_d, b_d — масштабные параметры компонент в кпк. Компонента гало (NFW) представляется согласно работе Navarro, Frenk и White, 1997:

$$\Phi_h(r) = -\frac{M_h}{r} \ln \left(1 + \frac{r}{a_h} \right), \quad (4)$$

где M_h — масса, a_h — масштабный параметр. В таблице 1 приведены значения параметров принятой модели галактического потенциала.

1.2 Модель бара

В качестве потенциала центрального бара была выбрана модель трехосного эллипсоида (Palous, Jungwiert и Kopecky, 1993):

$$\Phi_{bar} = -\frac{M_{bar}}{(q_b^2 + X^2 + [Ya/b]^2 + [Za/c]^2)^{1/2}}, \quad (5)$$

где $X = R \cos \vartheta, Y = R \sin \vartheta, a, b, c$ — три полуоси бара, q_b — масштабный параметр бара (длина наибольшей полуоси бара); $\vartheta = \theta - \Omega_b t - \theta_b$, $\operatorname{tg}(\theta) = Y/X$, Ω_b — круговая скорость бара, t — время интегрирования, θ_b — угол ориентации бара относительно галактических осей X, Y , отсчитывается от линии, соединяющей Солнце и центр Галактики (ось X) до большой оси бара по направлению вращения Галактики.

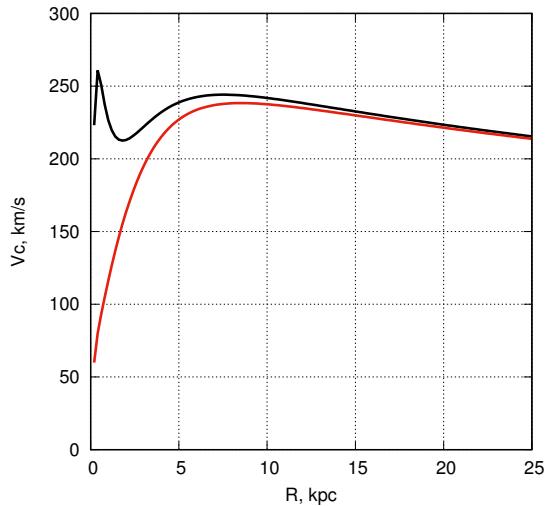


Рис. 1: Кривая вращения Галактики с осесимметричным потенциалом без бара (черная линия) и неосесимметричным потенциалом, включающим баром (красная линия).

Исходя из информации в многочисленной литературе, в частности, в Sanders и др., 2019, в качестве параметров бара были использованы следующие: $M_{bar} = 430M_{gal}$, $\Omega_b = 40$ км/с/кпк, $q_b = 5$ кпк, $\theta_b = 25^\circ$. Принятые параметры бара перечислены в таблице 1.

Для интегрирования уравнений движения мы использовали алгоритм Рунге-Кутты четвертого порядка.

Значение пекулярной скорости Солнца относительно местного стандарта покоя было принято равной $(u_\odot, v_\odot, w_\odot) = (11.1, 12.2, 7.3) \pm (0.7, 0.5, 0.4)$ км/с согласно работе Schönrich, Binney и Dehnen, 2010. Возвышение Солнца над плоскостью Галактики принято равным 16 пк в соответствии с работой V. V. Bobylev и A. T. Bajkova, 2016.

На рис. 1 для сравнения приведены полученные модельные кривые вращения: осесимметричного потенциала (черная линия) и потенциала с баром (красная линия).

2 ДАННЫЕ

Данные о собственных движениях ШС взяты из нового каталога Eugene Vasiliev и Holger Baumgardt, 2021, составленного на основе наблюдений Gaia EDR3. Средние значения расстояний до шаровых скоплений взяты из работы H. Baumgardt и E. Vasiliev, 2021.

Имеющийся в нашем распоряжении каталог ШС (A. T. Bajkova и V. V. Bobylev, 2022) насчитывает 152 объекта. Выделение шаровых скоплений из этого множества, принадлежащих области балджа/бара, было произведено в соответствии с чисто геометрическим критерием, рассмотренным в работе Massari, Koppelman и Helmi, 2019, а также использованным нами в работе A. T. Bajkova, Carrago и др., 2020. Он очень прост и заключается в отборе ШС, апоцентрическое расстояние орбит которых не превышает радиуса балджа, который обычно принимается равным 3.5 кпк. Орбиты вычисляются в осесимметричном потенциале. Полный список из 45 объектов нашей выборки перечислен в таблице 2, где приводятся результаты анализа хаотичности/регулярности орбиты ШС (в первой колонке дается порядковый номер ШС, во второй — наименование ШС).

3 МЕТОД

Метод заключается в том, что для орбиты каждого ШС вычисляется вариация (от минимального до максимального значения) изменения величины углового момента L_z в потенциале с баром в

Таблица 1: Значения параметров модели галактического потенциала, $M_{gal} = 2.325 \times 10^7 M_\odot$

M_b	443 M_{gal}
M_d	2798 M_{gal}
M_h	12474 M_{gal}
b_b	0.2672 кпк
a_d	4.40 кпк
b_d	0.3084 кпк
a_h	7.7 кпк
M_{bar}	430 M_{gal}
Ω_b	40 км/с/кпк
q_b	5.0 кпк
θ_b	25°
a/b	2.38
a/c	3.03

течение определенного, довольно большого промежутка времени (для наглядности), поделенная на модуль L_z в начальный момент времени. Искомая вариация для ШС с номером $n, n = 1, \dots, 45$, обозначается как $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$. В нашем случае, как и в других, ранее рассмотренных работах (A. T. Vajkova, A. A. Smirnov и V. V. Bobylev, 2024a; A. T. Vajkova, A. A. Smirnov и V. V. Bobylev, 2024b; A. Vajkova, A. Smirnov и V. Bobylev, 2025a; A. Vajkova, A. Smirnov и V. Bobylev, 2025b), время интегрирования орбиты ШС составляет 120 млрд лет. Затем устанавливается пороговое значение для принятия решения о хаотичности. Для этого производится анализ всего множества вариаций (45 ШС), стоятся гистограммы и т.п., устанавливаются корреляции с другими известными методами анализа орбитальной динамики.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты применения описанного выше метода для всей выборки из 45 ШС приведены в таблице 2 в 10-й колонке. В 11-й колонке дается вердикт: хаотическая (C) или регулярная (R) орбита на основе метода голосования с учетом как новых результатов, так результатов применения других методов анализа динамики ШС (A. T. Vajkova, A. A. Smirnov и V. V. Bobylev, 2024a; A. Vajkova, A. Smirnov и V. Bobylev, 2025a), отраженных в колонках с 3-ей по 9-ую. Все приведенные в шапке таблицы названия методов пронумерованы цифрами от 1 до 9. Т.е. каждый метод имеет свой номер. Кроме того, в квадратных скобках указан библиографический источник. В таблице 3 даются коэффициенты корреляции между результатами классификации динамики ШС (регулярной или хаотической), полученными приведенными методами попарно (т.е. по-существу представляет собой корреляционную матрицу). Коэффициенты корреляции позволяют судить о близости результатов классификации, полученных различными методами. Мы видим, что получена значимая корреляция нового метода с другими методами.

Графическое представление полученных результатов дается на рис. 2. На рисунке (a) показаны вариации $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$ (параллельно оси абсцисс) для каждого ШС в соответствии с интегралом Якоби, который является инвариантом для орбиты каждого ШС (ось ординат). Синим цветом обозначены вариации для ШС с хаотической динамикой, определенной по новому методу, красным цветом – для ШС с регулярной динамикой. Мы видим, что синие линии гораздо длиннее по сравнению с красными. Пороговое значение вариации, которое делит орбиты на хаотические и регулярные, мы определили из гистограммы, изображенной на рисунке (b). Это число представляет собой $\sqrt{2}$. Числовые значения вариаций $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$ для всех 45 ШС нашей выборки показаны на рисунке (c). Гистограмма (b) получена как раз из распределения

(c). В соответствии с этими графиками регулярную часть гистограммы отображает первый пик, равный 25 ШС, у которых вариаций $D(L_z^n / |L_z^n(1)|) \leq \sqrt{2}$.

На рисунке (d) отображена оценка степени хаотичности или регулярности, полученная методом "голосования" всех приведенных в таблице 2 методов. Чем ближе оценка к "1", тем регулярнее орбита. Чем ближе оценка к "0", тем орбита хаотичнее. Орбиты с оценкой "1" относятся к следующим ШС с регулярной динамикой: NGC6266, Terzan4, Liller1, Terzan1, Terzan6, Terzan9, NGC6522, NGC6624, NGC6637, NGC6717, Pismi26, NGC6569, E456-78, NGC6540, Djorg2, NGC6171, NGC6539, NGC6553. Орбиты с оценкой "0" относятся к следующим ШС с хаотической динамикой: E452-11, NGC6273, NGC6293, NGC6342, NGC6355, Terzan2, BH229, NGC6401, Pal6, NGC6453, NGC6558, NGC6626, NGC6638, NGC6642, NGC6652. Первую группу составляют 18 ШС, вторую – 15 ШС. Остальные ШС с промежуточными значениями степени регулярности составляют группу из 12 ШС – NGC6144, NGC6380, Terzan5, NGC6440, NGC6528, NGC6723, Terzan3, NGC6256, NGC6304, NGC6325, NGC6316, NGC6388, которых мы обозначили как слабохаотические (WC).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены следующие основные результаты:

1. Показано, как нарушение инвариантности Z -компоненты углового момента орбиты L_z в неосесимметричном потенциале Галактики с баром может служить показателем степени хаотичности шаровых скоплений в центральной области Галактики. При этом чем выше вариации орбиты L_z за определенный период времени, тем выше хаотичность орбиты. Таким образом, предложен новый метод анализа орбитальной динамики ШС и определения степени их хаотизации. Получена значимая корреляция предложенного метода с другими методами, что показывает его хорошую работоспособность.

2. В результате сопоставления предложенного метода с другими методами анализа с использованием метода "голосования" произведено разделение выборки из 45 шаровых скоплений в радиусе 3.5 кпк на регулярные, хаотические и слабохаотические. Получены следующие списки ШС:

2.1. Список из 18 шаровых скоплений с регулярной динамикой (R):

NGC6266, Terzan4, Liller1, Terzan1, Terzan6, Terzan9, NGC6522, NGC6624, NGC6637, NGC6717, Pismi26, NGC6569, E456-78, NGC6540, Djorg2, NGC6171, NGC6539, NGC6553.

2.2. Список из 15 шаровых скоплений с хаотической динамикой (C):

E452-11, NGC6273, NGC6293, NGC6342, NGC6355, Terzan2, BH229, NGC6401, Pal6, NGC6453, NGC6558, NGC6626, NGC6638, NGC6642, NGC6652.

2.3. Список из 12 шаровых скоплений со слабой хаотической динамикой (WC):

NGC6144, NGC6380, Terzan5, NGC6440, NGC6528, NGC6723, Terzan3, NGC6256, NGC6304, NGC6325, NGC6316, NGC6388

Список литературы

- Bajkova, A. T., A. A. Smirnov и V. V. Bobylev (2024a). Analysis of regularity/chaoticity of the Globular clusters dynamics in the central region of the Milky Way. *Publications of the Pulkovo Observatory* 233, c. 1–28.
- (2024b). The influence of the bar on the chaotic dynamics of globular clusters in the central region of the Galaxy. *Publications of the Pulkovo Observatory* 235, c. 1–15.
- Bajkova, Anisa, Anton Smirnov и Vadim Bobylev (2025a). New Method for Analyzing Orbital Dynamics of Globular Clusters in the Central Region of the Milky Way. *Publications of the Pulkovo Observatory* 236, c. 1–22.
- (2025b). *Publications of the Pulkovo Observatory* 237.
- Vasiliev, Eugene и Holger Baumgardt (2021). Gaia EDR3 view on galactic globular clusters. MNRAS 505.4, c. 5978–6002.
- Baumgardt, H. и E. Vasiliev (2021). Accurate distances to Galactic globular clusters through a combination of Gaia EDR3, HST, and literature data. MNRAS 505.4, c. 5957–5977.
- Miyamoto, M. и R. Nagai (1975). Three-dimensional models for the distribution of mass in galaxies. PASJ 27, c. 533–543.
- Navarro, Julio F., Carlos S. Frenk и Simon D. M. White (1997). A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering. ApJ 490.2, c. 493–508.
- Palous, J., B. Jungwiert и J. Kopecky (1993). Formation of rings in weak bars : inelastic collisions and star formation. A&A 274, c. 189–202.
- Sanders, Jason L., Leigh Smith, N. Wyn Evans и Philip Lucas (2019). Transverse kinematics of the Galactic bar-bulge from VVV and Gaia. MNRAS 487.4, c. 5188–5208.
- Schönrich, Ralph, James Binney и Walter Dehnen (2010). Local kinematics and the local standard of rest. MNRAS 403.4, c. 1829–1833.
- Bobylev, V. V. и A. T. Bajkova (2016). Analysis of the Z distribution of young objects in the Galactic thin disk. *Astronomy Letters* 42.1, c. 1–9.
- Bajkova, A. T. и V. V. Bobylev (2022). A new catalog of orbits of 152 globular clusters from Gaia EDR3. *Publications of the Pulkovo Observatory* 227, c. 1–26.
- Massari, D., H. H. Koppelman и A. Helmi (2019). Origin of the system of globular clusters in the Milky Way. A&A 630, c. L4.
- Bajkova, A. T., G. Carraro, V. I. Korchagin, N. O. Budanova и V. V. Bobylev (2020). Milky Way Subsystems from Globular Cluster Kinematics Using Gaia DR2 and HST Data. ApJ 895.1, c. 69.

VARIATIONS OF ANGULAR MOMENTUM L_z AS AN INDICATOR OF ORBITAL CHAOS OF GLOBULAR CLUSTERS IN THE CENTRAL REGION OF THE GALAXY WITH A BAR

A. T. Bajkova, A. A. Smirnov, V. V. Bobylev

Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Pulkovo

Received 11 September 2025 / Accepted 1 October 2025

It is shown how the violation of the invariance of the Z -component of the orbital angular momentum L_z in the axially symmetric potential of the Galaxy with a bar can serve as an indicator of the degree of orbital chaos of globular clusters in the central region of the Galaxy. In this case, the higher the variations of L_z of the orbit over a certain period of time, the higher the chaos of the orbit. In essence, a new method for analyzing orbital dynamics – regular or chaotic – is proposed. A high level of correlation between the results of orbit classification by the proposed method and the results of classification by other methods is shown. As a result, a sample of 45 globular clusters in the central region of the Galaxy with a radius of 3.5 kpc is divided into regular, chaotic, and weakly chaotic.

Keywords: Galaxy, bar, globular clusters, chaotic orbital dynamics

Таблица 2: Сводная таблица признаков регулярности (R) и хаотичности (C) орбит 45 ШС.

№	Название ШС	Вероятностный метод (1) [1]	MEGNO t=270 млрд лет (2) [1]	МХПЛ t=120 млрд лет (3) [1]	Сечения Пуанкаре (4) [1]	Дрейф частоты $\lg(\Delta f)$ (5) [1]	Визуальная оценка (6) [1]	Новый метод: оценка по энтропии (7) [3]	Новый метод по вариации $L_z/L_z(1)$ (8) наст.раб.	Метод голосования (9)
1	NGC6144	(C)	2.173 (R)	-0.002 (R)	(R)	-2.08 (R)	(R)	0.021 (R)	1.33 (R)	7/8 (WC)
2	E452-11	(C)	0.752 (C)	0.919 (C)	(C)	-1.37 (C)	(C)	0.215 (C)	11.02(C)	0 (C)
3	NGC6266	(R)	1.976 (R)	-0.017 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.19 (R)	1 (R)
4	NGC6273	(C)	1.494 (C)	1.318 (C)	(C)	-1.77 (C)	(C)	0.050 (C)	4.39 (C)	0 (C)
5	NGC6293	(C)	0.934 (C)	4.167 (C)	(C)	-0.07 (C)	(C)	0.063 (C)	2.81 (C)	0 (C)
6	NGC6342	(C)	0.769 (C)	0.428 (C)	(C)	-2.14 (C)	(C)	0.095 (C)	1.75 (C)	0 (C)
7	NGC6355	(C)	0.509 (C)	2.257 (C)	(C)	-0.10 (C)	(C)	0.123 (C)	6.87 (C)	0 (C)
8	Terzan2	(C)	0.627 (C)	0.905 (C)	(C)	-0.23 (C)	(C)	0.224 (C)	2.09 (C)	0 (C)
9	Terzan4	(R)	1.993 (R)	-0.144 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.010 (R)	1.17 (R)	1 (R)
10	BH229	(C)	0.663 (C)	2.220 (C)	(C)	-1.81 (C)	(C)	0.108 (C)	10.22(C)	0 (C)
11	Liller1	(R)	2.049 (R)	-0.037 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.010 (R)	1.18 (R)	1 (R)
12	NGC6380	(R)	2.182 (R)	0.220 (C)	(R)	-3.72 (R)	(R)	0.010 (R)	1.27 (R)	7/8 (WC)
13	Terzan1	(R)	2.000 (R)	-0.029 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.008 (R)	1.09 (R)	1 (R)
14	NGC6401	(C)	0.622 (C)	4.712 (C)	(C)	-0.09 (C)	(C)	0.134 (C)	8.11 (C)	0 (C)
15	Pal6	(C)	0.502 (C)	3.359 (C)	(C)	-0.10 (C)	(C)	0.131 (C)	11.57(C)	0 (C)
16	Terzan5	(R)	2.023 (R)	0.041 (C)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.33 (R)	7/8 (WC)
17	NGC6440	(C)	1.901 (R)	0.572 (C)	(R)	-2.26 (C)	(C)	0.038 (C)	1.68 (C)	2/8 (WC)
18	Terzan6	(R)	1.996 (R)	-0.055 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.007 (R)	1.06 (R)	1 (R)
19	NGC6453	(C)	1.178 (C)	1.998 (C)	(C)	-1.92 (C)	(C)	0.170 (C)	4.13 (C)	0 (C)
20	Terzan9	(R)	2.358 (R)	-0.056 (R)	(R)	-3.86 (R)	(R)	0.012 (R)	1.23 (R)	1 (R)
21	NGC6522	(R)	1.996 (R)	-0.020 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.013 (R)	1.09 (R)	1 (R)
22	NGC6528	(R)	2.008 (R)	-0.036 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.015 (R)	2.00 (C)	7/8 (WC)
23	NGC6558	(C)	0.819 (C)	1.364 (C)	(C)	-1.03 (C)	(C)	0.099 (C)	6.53 (C)	0 (C)
24	NGC6624	(R)	1.847 (R)	-0.040 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.008 (R)	1.09 (R)	1 (R)
25	NGC6626	(C)	1.194 (C)	0.093 (C)	(C)	-1.78 (C)	(C)	0.079 (C)	2.31 (C)	0 (C)
26	NGC6638	(C)	0.533 (C)	2.411 (C)	(C)	-0.16 (C)	(C)	0.140 (C)	7.66 (C)	0 (C)
27	NGC6637	(R)	1.988 (R)	-0.012 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.008 (R)	1.28 (R)	1 (R)
28	NGC6642	(C)	0.681 (C)	2.451 (C)	(C)	-1.01 (C)	(C)	0.197 (C)	2.24 (C)	0 (C)
29	NGC6717	(R)	2.044 (R)	-0.001 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.015 (R)	1.08 (R)	1 (R)
30	NGC6723	(R)	2.252 (R)	0.064 (C)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.013 (R)	2.01 (C)	6/8 (WC)
31	Terzan3	(R)	3.495 (R)	-0.000 (R)	(R)	-1.89 (R)	(R)	0.031 (C)	1.44 (C)	6/8 (WC)
32	NGC6256	(C)	0.893 (C)	-0.000 (R)	(C)	-1.93 (C)	(C)	0.039 (C)	1.37 (R)	2/8 (WC)
33	NGC6304	(R)	1.753 (R)	-0.000 (R)	(C)	-1.38 (C)	(C)	0.017 (R)	1.27 (R)	5/8 (WC)
34	Pismi26	(R)	1.941 (R)	-0.000 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.34 (R)	1 (R)
35	NGC6569	(R)	1.957 (R)	-0.000 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.05 (R)	1 (R)
36	E456-78	(R)	1.983 (R)	-0.000 (R)	(R)	-3.59 (R)	(R)	0.010 (R)	1.19 (R)	1 (R)
37	NGC6540	(R)	1.999 (R)	-0.000 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.010 (R)	1.05 (R)	1 (R)
38	NGC6325	(C)	1.216 (C)	-0.000 (R)	(C)	-3.22 (R)	(C)	0.037 (C)	1.47 (C)	2/8 (WC)
39	Djorg2	(R)	2.320 (R)	-0.050 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.06 (R)	1 (R)
40	NGC6171	(R)	2.015 (R)	-0.000 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.13 (R)	1 (R)
41	NGC6316	(R)	2.289 (R)	0.251 (C)	(R)	-1.96 (R)	(R)	0.035 (C)	1.41 (R)	6/8 (WC)
42	NGC6388	(R)	2.450 (R)	0.271 (C)	(C)	-0.03 (C)	(R)	0.034 (C)	1.07 (R)	4/8 (WC)
43	NGC6539	(R)	1.993 (R)	-0.000 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.009 (R)	1.14 (R)	1 (R)
44	NGC6553	(R)	1.899 (R)	-0.000 (R)	(R)	-4.00 (R)	(R)	0.008 (R)	1.07 (R)	1 (R)
45	NGC6652	(C)	1.121 (C)	3.269 (C)	(C)	-0.12 (C)	(C)	0.149 (C)	14.02(C)	0 (C)

Таблица 3: Корреляционная матрица 2

Метод	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1)	1.00	0.91	0.64	0.82	0.82	0.91	0.82	0.77	0.91
(2)	0.91	1.00	0.65	0.91	0.82	0.91	0.83	0.78	0.91
(3)	0.64	0.65	1.00	0.64	0.73	0.64	0.73	0.69	0.73
(4)	0.82	0.91	0.64	1.00	0.91	0.91	0.82	0.68	0.91
(5)	0.82	0.82	0.73	0.91	1.00	0.91	0.82	0.68	0.91
(6)	0.91	0.91	0.64	0.91	0.91	1.00	0.82	0.77	0.91
(7)	0.82	0.83	0.73	0.82	0.82	0.82	1.00	0.78	0.91
(8)	0.77	0.78	0.69	0.68	0.68	0.77	0.78	1.00	0.77
(9)	0.91	0.91	0.73	0.91	0.91	0.91	0.91	0.77	1.00

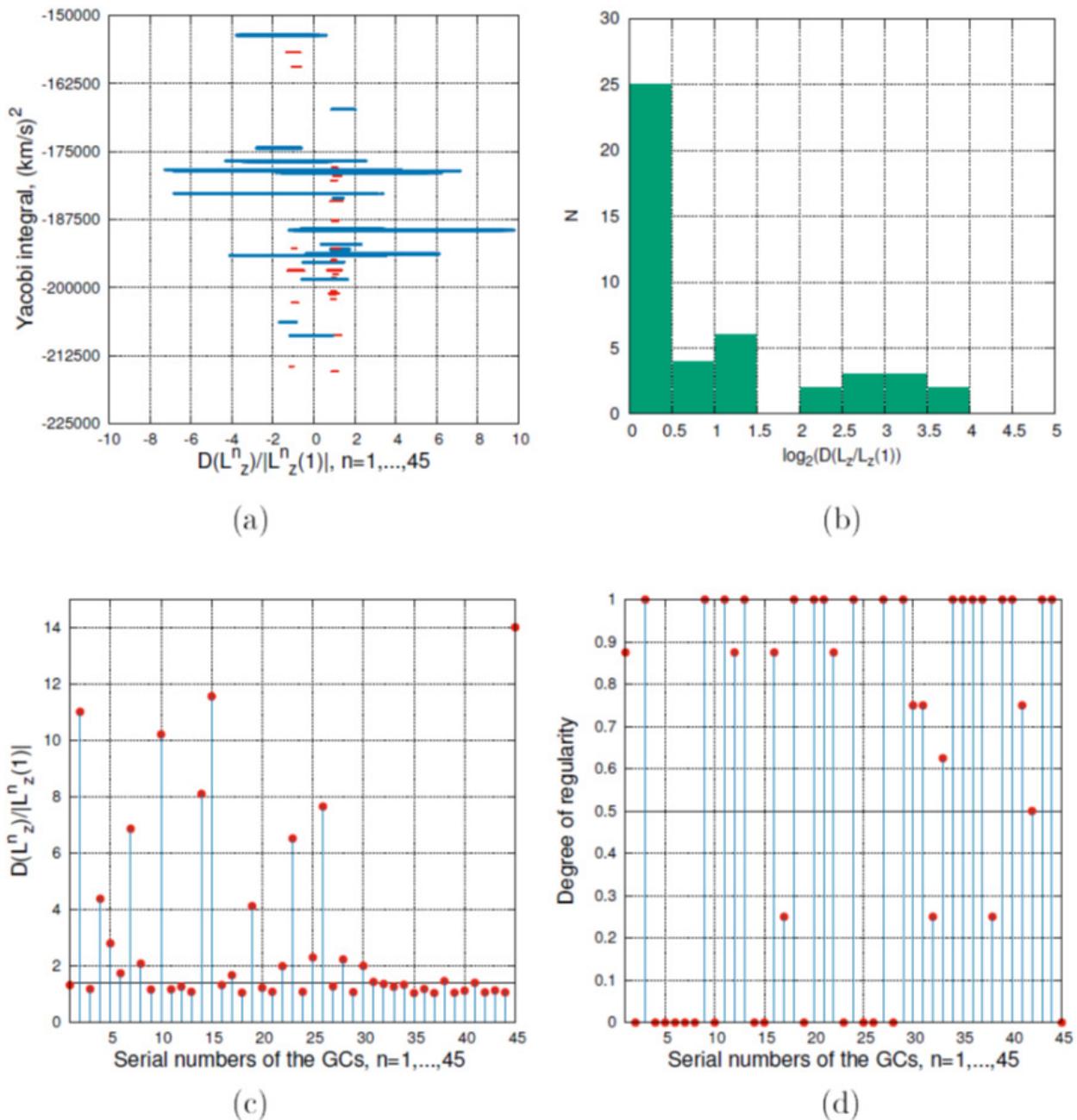


Рис. 2: Графическая иллюстрация нового метода определения орбитальной динамики ШС по величине вариации $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$: (а) диаграмма $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$ – интеграл Якоби (б) гистограмма распределения вариаций $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$, (с) значения вариаций $D(L_z^n / |L_z^n(1)|)$ для всех 45 ШС, (д) степень орбитальной регулярности всех 45 ШС, определенная по методу "голосования".