

Интерпретация необъясненных аномальных вековых изменений большой полуоси и эксцентриситета лунной орбиты в современную эпоху

© Ю.В. Баркин¹, М.Ю. Баркин^{2, 3}

¹ ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

³ Московский авиационный институт, Москва, 12599, Россия

Необъясненные вековые эффекты в орбитальном движении Луны являются следствиями обнаруженного в последние годы явления удаления центра масс Луны относительно ее мантии и коры по направлению к обратной стороне. Аномальные вековые вариации большой полуоси и эксцентриситета лунной орбиты, обсуждаемые в современной научной литературе, интерпретируются как фиктивные явления. Они обусловлены вековым дрейфом центра масс Луны относительно ее коры и мантии по направлению от Земли, т. е. к обратной стороне Луны. Приближенная оценка скорости дрейфа может составлять 5...8 мм/г. Этот эффект и вековое аномальное изменение эксцентриситета лунной орбиты отображают лишь высокоточные данные лазерных наблюдений Луны, а не динамические особенности движения центра масс Луны в пространстве. Аномальное вековое изменение эксцентриситета орбиты Луны связано с пространственным характером смещений центра масс Луны относительно системы рефлекторов на ее поверхности. Это относится к вековым и скачкообразным изменениям орбитальных элементов Луны в данных лазерных наблюдений.

Ключевые слова: оболочки планет, светолокационные наблюдения, космическая геодезия, мантия Земли, ядро Земли.

Введение. В движении ближайшего к нам небесного тела — Луны — обнаруживаются эффекты во вращательном и в орбитальном движении, природа которых не поддается простому объяснению [1]. Являясь весьма малыми по величине, они создают большие трудности и помехи при решении задач навигации и изучения Луны. К таковым относятся наблюдаемые аномальные эффекты в вековом изменении большой полуоси и эксцентриситета лунной орбиты. Следует отметить также скачкообразные изменения лунной орбиты, что является трудным для понимания и интерпретации. Аномальные эффекты в орбитальном движении Луны исследовались многими специалистами по небесной механике и физике, в частности обзор работ этого направления приводится в статье [2]. К сожалению, все попытки объяснения этих эффектов на основе классических и современных теорий гравитации оказались безуспешными. Можно предположить, что данные аномальные эффекты имеют фиктивную природу, связанную со спецификой лазерных наблюдений и особенностями динамической перестройки внутреннего строения Луны — со смещениями ее центра масс относительно коры и мантии [3, 4].

В данной работе предлагается возможное объяснение этих явлений на основе геодинамической модели вынужденных относительных колебаний и блужданий оболочек Луны, которые в первую очередь проявляются в относительных смещениях и колебаниях ядра и мантии Луны и в вековом дрейфе и центра масс Луны относительно ее коры [3, 5].

Современная модель внутреннего строения Луны, построенная на основе результатов сейсмических наблюдений, проводимых в соответствии с космической программой «Аполлон», представлена на рис. 1, а [6]. Аналогичные смещения колебания ядра Земли ранее исследовались в работе [7]. В отношении Луны эти явления обсуждаются практически впервые. Отметим лишь важный результат, представленный в работе [8], в которой по данным лазерных наблюдений был выявлен скачок в дальностях до светоотражателей на Луне. На основе результатов исследования остаточных разностей дальностей до светоотражателей на Луне [8] выявлены скачкообразные изменения дальностей до четырех основных отражателей в 1986–1987 гг. и в 1997–1998 гг., а также установлено существование линейных дрейфов дальностей до светоотражателей в периоды времени до и после отмеченных скачков [4]. Положения светоотражателей на поверхности Луны приведены на рис. 1, б. Эти данные будут использованы в предлагаемой работе для объяснения наблюдаемых аномалий в вариациях большой полуоси и эксцентриситета лунной орбиты.

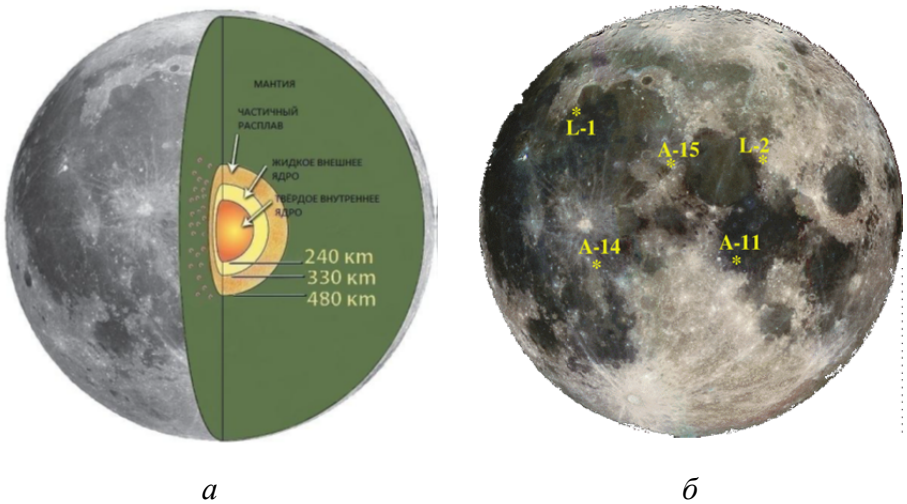


Рис. 1. Основные оболочки Луны и их радиусы (а), положение светолокационных отражателей на поверхности Луны (б) [6]

Анализ данных лазерной локации Луны (LLR) в течение 38,7 лет позволил выявить аномальное вековое увеличение эксцентриситета лунной орбиты со скоростью $(9 \pm 3) \cdot 10^{-12}$ 1/год [1]. Современные мо-

дели диссипативных явлений, происходящих внутри Земли и Луны, не позволяют объяснить отмеченный аномальный эффект [2]. Из геомодели, предлагаемой авторами этой статьи, следует также, что в лазерных наблюдениях наряду с вековыми изменениями эксцентриситета и большой полуоси лунной орбиты должны наблюдаться также их скачкообразные изменения [3, 4]. Цель настоящей работы — показать, что все указанные явления фиктивны, поскольку отражают смещения центра масс Луны относительно ее коры в вариациях лазерных дальностей.

Приливное ускорение и эволюция орбиты Луны. Метод лазерной локации оказался весьма чувствительным к определению приливного ускорения Луны. Приливные эффекты на Луне не схожи с эффектами земных приливов в лазерных измерениях дальностей до Луны [1, 9]. Полное приливное ускорение \dot{h} в средней орбитальной долготе (вследствие приливов на Земле и Луне) составляет 25, 85 угл. с/век², что соответствует удалению Луны от Земли со скоростью 3,81 см/год [1]. Скорость векового изменения (вариации) эксцентриситета лунной орбиты $\dot{e} = (9 \pm 3) \cdot 10^{-12}$ 1/год также установлена в результате длительных лазерных наблюдений в течение 38,7 лет (с 16 марта 1970 г. по 22 ноября 2008 г.) [1] на основе высокоточной лунной эфемериды DE421, учитывающей все ньютоновские и эйнштейновские эффекты. Лазерная локация Луны позволила получить числовые значения для двух источников диссипации на Земле и для двух — на Луне. Однако в соответствии с предлагаемой геомоделью лазерные измерения дальностей до рефлекторов связаны с относительными смещениями внешней оболочки Луны (мантии) и внутренней оболочки (ядра Луны).

Необъясненная вековая вариация эксцентриситета лунной орбиты.

«The eccentricity rate presents a mystery. Lunar tidal dissipation has a significant influence on this rate and the total rate should be the sum of Earth $1,3 \cdot 10^{-11}$ 1/yr and Moon $-0,6 \cdot 10^{-11}$ effects. However, we find it necessary to solve for an additional anomalous eccentricity rate of $(1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-11}$ 1/yr (Williams et al., 2001) when fitting the ranges. The anomalous rate is equivalent to an additional 6 mm/yr decrease in perigee distance. Note that the integrated ephemerides (and DE series) do not include the anomalous eccentricity rate.» (Williams and Dickey, 2002) [9], [12].

В работах Д. Уильямса и его коллег показано, что наблюдаемая скорость векового изменения эксцентриситета орбиты Луны в $2,3 \cdot 10^{-11}$ 1/год не может быть объяснена в рамках классической модели приливов и отливов. Земные приливы дают лишь часть от указанного значения $1,3 \cdot 10^{-11}$ 1/год, а лунные приливы приводят даже к эффекту с обратным знаком $-0,6 \cdot 10^{-11}$ 1/год. Остается необъяснен-

ной аномальная часть векового изменения эксцентриситета $(1,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-11}$ 1/год.

Это значение соответствует аномальным вековым изменениям в расстояниях до перигея и апогея лунной орбиты со скоростью 6 мм/год [10]. Аномальная скорость изменения эксцентриситета соответствует скоростям изменения расстояний до Луны -4 мм/год в перигее и 4 мм/год в апогее. Причина подобного поведения орбиты Луны неизвестна.

Скачкообразные изменения орбитального движения Луны. В период с 1997 по 1998 г. отмечено скачкообразное изменение поправки ко всем трем составляющим в лунной долготы. Так, в представлении лунной долготы $W_1 = W_1^{(0)} + W_1^{(1)}t + W_1^{(2)}t^2$ [9], построенном в результате анализа лазерных измерений дальностей, эти скачки фиксируются в трех составляющих остаточных разностей долготы: $\Delta W_1^{(0)}$, $\Delta W_1^{(1)}$ и $\Delta W_1^{(2)}$ (рис. 2).

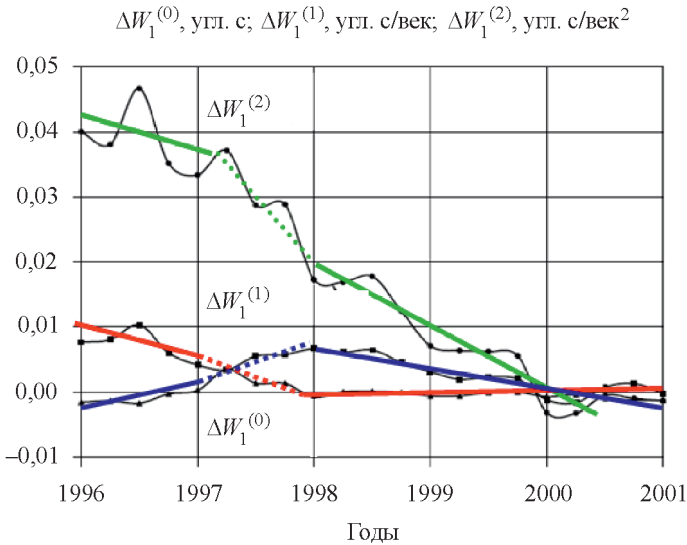


Рис. 2. Временная эволюция коэффициентов-поправок $\Delta W_1^{(0)}$, $\Delta W_1^{(1)}$ и $\Delta W_1^{(2)}$ в 1996–2001 гг. для компонент средней долготы Луны при увеличении числа наблюдений методом лазерной локации (LLR) [9]

В работе [9] временные изменения коэффициентов-поправок $\Delta W_1^{(0)}$, $\Delta W_1^{(1)}$ и $\Delta W_1^{(2)}$ и их плавные изменения (см. рис. 2) связываются с ростом числа наблюдений. Однако изменения на сравнительно коротком промежутке времени (с 1996 по 1998 г.) вряд ли подвержены указанному влиянию. Согласно предлагаемой авторами данной статьи геодинимической модели вынужденных колебаний и смеще-

ний оболочек Луны, скачки в значениях коэффициентов $W_1^{(0)}, W_1^{(1)}, W_1^{(2)}$ в выражении долготы $W_1 = W_1^{(0)} + W_1^{(1)}t + W_1^{(2)}t^2$ связаны с геодезическими смещениями центра масс Луны и слабо зависят от увеличения числа наблюдений в этот период. В представленных на рис. 2 зависимостях нашел отражение эффект скачкообразного смещения центра масс Луны в 1997 г., который в действительности обнаруживается в данных светолокационных наблюдений [8]. Этот эффект связан с резким относительным смещением ядра и мантии Луны. Существование жидкого и твердого ядер подтверждено недавними исследованиями на основе сейсмических данных, полученных в соответствии с программой «Аполлон» [6] (см. рис. 1, а).

Методы лазерного слежения Луны и ее искусственных спутников. Исследования дрейфа (смещения) центра масс Луны проводятся двумя альтернативными и высокоточными методами: лазерного слежения за отражателями на Луне [11] и слежения за искусственными спутниками Луны. Эти методы имеют свою специфику и по-разному описывают эффект векового удаления Земли, если центр масс Луны испытывает дрейф по отношению к ее мантии. Так, первый метод, в основе которого лежит метод лазерной локации Луны, позволяет изучить суммарный эффект: вековое изменение большой полуоси лунной орбиты и вековой дрейф центра масс. Второй метод позволяет изучить вековое изменение большой полуоси лунной орбиты и дрейф центра масс Луны отдельно.

Возможный вековой дрейф центра массы Луны относительно ее коры и мантии. В своей Брауновской лекции в 2006 г. Д. Вильямс отметил определенное расхождение между значениями ускорения Луны, полученными с помощью лазерных измерений дальностей до светоотражателей на поверхности Луны и с помощью спутниковых измерений. Лазерные измерения дали несколько заниженное (по модулю) значение ускорения, различие составило примерно $-0,8$ угл. с/сек². В результате возникла проблема динамического обоснования указанного расхождения [10].

Дрейф центра масс Луны и объяснение аномалий ее орбитального движения. В данной работе впервые приводится оценка скорости возможного векового дрейфа центра масс Луны относительно ее коры и мантии 10...15 мм/год по направлению к ее обратной стороне. Это следует учитывать при изучении орбитального движения Луны на основе лазерных наблюдений. Путем прибавления к значению, определенному по результатам лазерных наблюдений, можно получить оценку векового нарастания большой полуоси орбиты центра масс Луны. Следует ожидать, что при этом будут получены интерпретация и объяснение аномальных частей векового орби-

тального ускорения Луны и вековой вариации эксцентриситета лунной орбиты, выявленных по данным многолетних лазерных наблюдений Луны.

Аномальная (необъясненная) часть орбитального ускорения Луны составляет около $0,7$ угл. с/век², а аномальная часть векового изменения эксцентриситета характеризуется скоростью $1,23 \cdot 10^{-11}$ 1/год [12, 13]. Найденное смещение — дрейф центра масс Луны ($12 \dots 15$ мм/год) — обусловлено действием механизма возбуждения и относительных смещений оболочек Луны (твёрдого ядра, жидкого ядра и мантии) [5].

Ниже приведены определенные значения параметров \dot{n} , угл. с/век², и \dot{a} , мм/год, полученные в результате лазерных наблюдений, выполненных в 1978, 1982 и 1988 гг. [11]:

$$\dot{n} = -24,6, \dot{a} = 36,38 \text{ (1978);}$$

$$\dot{n} = -23,8, \dot{a} = 35,20 \text{ (1982);}$$

$$\dot{n} = -25,1, \dot{a} = 37,12 \text{ (1982);}$$

$$\dot{n} = -24,9, \dot{a} = 36,83 \text{ (1988).}$$

Средние значения параметров изменения большой полуоси лунной орбиты, по данным LLR:

$$\dot{n} = -24,6 \text{ угл. с/век}^2, \dot{a} = 36,38 \text{ мм/год.}$$

Несколько большие значения (по модулю) параметров \dot{n} и \dot{a} получены другими методами. Так, спутниковые методы изучения приливных ускорений Луны и Земли дают следующие значения: $-26,25$ угл. с/век² и $38,82$ мм/год [14], изучение орбитально-приливной диссипации на основе теории орбитального движения DE421 — $25,86$ угл. с/век² и $38,14$ мм/год [14], а метод анализа прохождения Меркурия по диску Солнца в 1677–1973 гг. — (-26 ± 2) угл. с/век² и $(38,5 \pm 3,0)$ мм/год [15]. Поэтому для второй группы методов определения вековых изменений среднего орбитального движения и большой полуоси лунной орбиты можно принять следующие значения:

$$\dot{n} = -26,0 \text{ угл. с/век}^2, \dot{a} = 38,5 \text{ мм/год.}$$

Еще большие значения дают методы определения параметров \dot{n} и \dot{a} , соответственно, с помощью данных о полных солнечных затмениях начиная с 2500 г. до н. э.:

$$-29,65 \text{ и } 43,86;$$

$$-29,68 \text{ и } 43,90 \text{ (1931);}$$

$$-30 \text{ и } 44,4 \text{ (1976).}$$

Средние значения вековых скоростей, по данным о солнечных затмениях, составляют $-29,8$ угл. с/век² и $44,0$ мм/год. В работе [9] при-

ведены следующие значения параметров, определенные методом лазерной локации: $-26,07$ угл. с/век² и $38,45$ мм/год. Соответственно, разность в значениях параметров, определенных данными методами, составила $3,73$ угл. с/век² и $5,55$ мм/год. Однако, если различие результатов определения векового ускорения Земли двумя способами (спутниковые данные и лазерные наблюдения) составляет $0,7$ угл. с/век² [10], то соответствующее вековое аномальное изменение большой полуоси лунной орбиты будет существенно меньше: $\dot{a} = 1,04$ мм/год.

Таким образом, скорость векового изменения большой полуоси лунной орбиты, определенной классическими (не лазерными методами), превышает по модулю ее значения, полученные методом лазерной локации Луны. Это указывает на существование векового дрейфа центра масс Луны вдоль оси инерции, направленной от меньшего из главных моментов инерции к обратной стороне Луны. Но следует отметить, что результаты определения скорости дрейфа центра масс Луны существенно зависят от рассматриваемого периода времени, а также от характера скачкообразных изменений его смещений в этот период.

Орбитальная приливная диссипация, согласно теории DE421, характеризует вековое изменение большой полуоси лунной орбиты со скоростью $38,14$ мм/год. Исследования движения спутников Земли дают оценку для приливного ускорения Луны $-26,25$ угл. с/век² и $38,82$ мм/год [11]. Поэтому неприливая вариация большой полуоси, обусловленная смещением центра масс Луны к ее обратной стороне, может составить около $2,44$ мм/год. Полученные оценки неприливого изменения большой полуоси лунной орбиты имеют значительный разброс, следовательно, их необходимо рассматривать как предварительные результаты, которые требуется подтвердить в будущих исследованиях.

Для выбранного периода определений ускорения Луны единым методом, основанным на лазерных наблюдениях, получаем среднее значение $-24,6$ угл. сек/век² ($36,4$ мм/век). Это позволяет оценить дрейф центра масс Луны со скоростью $8,12$ мм/год по направлению к обратной стороне Луны. В указанных определениях предполагается, что центр масс не изменяет своего положения относительно лазерных отражателей. Однако из результатов исследований авторов следует, что это ограничение является искусственным и в действительности центр масс Луны дрейфует со скоростью около $5...15$ мм/год по направлению от Земли относительно коры Луны. Примем для определенности скорость этого дрейфа равной $8,12$ мм/год по отношению к коре в направлении к обратной стороне Луны [4]. Это означает, что вековое удаление Луны от Земли происходит со скоростью $44,56$ мм/год, а угловое замедление орбитального движения Луны составляет $-30,13$ угл. град/век².

Приведенные значения подтверждают данные об ускорении Луны, полученные альтернативными методами в результате анализа покрытий и затмений Солнца [9]: -38 угл. с (1975) и -30 угл. с (1976). Это можно рассматривать как подтверждение векового дрейфа центра масс Луны относительно ее мантии по направлению от Земли к обратной стороне Луны со скоростью около 1 см/год.

По вековым аномальным изменениям большой полуоси лунной орбиты и ее эксцентриситета можно определить такую же аномальную скорость изменения меньшей полуоси орбиты Луны. При этом оба аномальных эффекта получают объяснение. Эти результаты следует считать предварительными, требующими дальнейшего уточнения с помощью лазерных и классических астрометрических и спутниковых наблюдений.

В предлагаемой модели аналогичные вековые аномальные эффекты составили $4,65$ мм/год (для перигея) и $14,95$ мм/год (для апогея). Таким образом, вековое уменьшение расстояния до перигея происходит с меньшей скоростью, чем эксцентриситетное увеличение расстояния до апогея. Подобный эффект отмечается в работе [1].

Заключение. По мнению авторов, причина аномальных изменений большой полуоси и эксцентриситета лунной орбиты заключается в особенностях и различиях спутникового метода определения ускорения Луны и метода лазерной локации. Спутниковый метод более точен, поскольку позволяет определить ускорение Луны по спутниковым орбитам, которые привязаны к центру масс Земли (или Луны). Метод лазерной локации основан на анализе дальностей до определенных точек на поверхности Луны. Но эти точки могут менять свое положение относительно центра масс Луны. Авторами неоднократно высказывалось предположение о том, что центр масс Луны совершает колебательные движения и, в частности, вековой дрейф по отношению к мантии Луны. Это обусловлено универсальным действием механизма вынужденной раскачки, колебаний и поворотов оболочек Луны (ядра, мантии, коры) [3, 5]. Центр масс Земли совершает комплексные колебания и вековой дрейф по отношению к ее мантии (в соответствующих опорных системах координат спутниковых систем DORIS GPS и др. [7]). Многие геодинамические и геофизические явления (их энергетика, цикличность, инверсия, полярная активность, скачкообразность и др.) — это прямые динамические следствия колебаний центра масс Земли, а последние, в свою очередь, связаны с относительными смещениями и колебаниями самих оболочек небесного тела под действием дифференциального притяжения внешних небесных тел [5]. Это в полной мере относится к аналогичным явлениям возбуждения и относительных колебаний оболочек Луны, которые также будут сопровождаться указанными явлениями [3].

Следует подчеркнуть, что аномальные эффекты в орбитальном движении Луны были выявлены по данным лазерных наблюдений, которые фактически определяют вековой дрейф не центра масс Луны, а вековое движение группы отражателей на поверхности Луны, расположенных в области полюса основной оси инерции Луны, направленной к Земле (см. рис. 1, б). Авторами получены различные оценки скорости смещения центра масс относительно поверхности видимой стороны Луны для разных периодов времени. Например, скорость дрейфа составляла 9,8 мм/год до 1998 г. и 14,7 мм/год после 1998 г. Это означает, что большая полуось орбиты Луны реально возрастала со скоростью 47,9 мм/год до 1998 г. и со скоростью 52,8 мм/год после 1998 г. Соответствующие ускорения в долготе при этом составляли 31,47 угл. с/сек² и 37,79 угл. с/сек². Эти значения больше на 25,6 и 38,4 %, чем установленные методом лазерной локации. Такой вклад дают приливы другой природы, а именно вызванные дрейфом ядра Луны.

В наблюдаемое ускорение орбитального движения Луны вносят существенный вклад два механизма: классические приливы в системе Земля – Луна – Солнце и вынужденные колебания ядра и мантии Луны. Действие второго механизма проявляется в колебаниях и смещениях центра масс Луны относительно ее коры и мантии и в деформациях поверхности Луны, на которой установлены отражатели.

В данной работе исследованы лишь медленные вековые изменения положения центра масс Луны, а также большой по модулю скачок центра масс (относительно мантии) в 1997 и 1998 гг. Однако механизм вынужденной «раскачки» оболочек Луны позволяет предсказать циклические колебания ее центра масс с широким спектром частот. Указанные циклические колебания получают отражение в природных процессах на Луне и, в частности, в вариациях ее сейсмической активности [16]. Именно эти циклические колебания, а также их некоторые производные будут обнаружены в колебаниях центра масс Луны в недалеком будущем.

В настоящей работе впервые дана оценка скорости возможного векового дрейфа центра масс Луны относительно ее коры и мантии 10...15 мм/год по направлению к обратной стороне спутника, который следует учитывать при изучении орбитального движения Луны на основе лазерных наблюдений расстояний до светоотражателей на поверхности Луны. При этом получают интерпретацию и объяснение аномальной части векового орбитального ускорения Луны и вековой вариации эксцентриситета лунной орбиты, выявленные по данным многолетних лазерных наблюдений Луны. Аномальная часть орбитального ускорения (необъясненная) Луны составляет 0,7 угл. с/сек², аномальная часть векового изменения эксцентриситета — $1,2 \cdot 10^{-11}$ 1/год [14]. Найденное смещение — дрейф центра масс Луны (12...15 мм/год)

обусловлено действием механизма возбуждения и относительных смещений оболочек Луны (твёрдого ядра, жидкого ядра, мантии) [5]. Таким образом, необъясненные эффекты орбитального движения Луны являются следствиями обнаруженного явления удаления центра масс Луны относительно ее мантии по направлению к обратной стороне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Williams J.G., Boggs D.H. Lunar Core and Mantle. What Does LLR See? *Schiliak S., eds. Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*, 2009, pp. 101–120.
http://cddis.gsfc.nasa.gov/lw16/docs/papers/sci_1_Williams_p.pdf (дата обращения 15.09.2014).
- [2] Iorio L. On the anomalous secular increase of the eccentricity of the orbit of the Moon. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 415, 1266–1275. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 02/2011; 415(2). doi:10.1111/j.1365-2966.2011.18777.x Source: arXiv
- [3] Barkin Yu.V. Modern problems of selenodynamics. *Astronomical and Astrophysical Transactions (AAPTr)*, 2010/2011, vol. 27, Issue 1, pp. 101–104. www.aaptr.com/upload/AAPTR/pdf/101_104_Barkin_V2.pdf
- [4] Barkin Yu., Hanada H., Barkin M. The drift and steps of the center of mass of the Moon with respect to the crust and interpretation of unexplained secular changes of the lunar orbit. *The fifth Moscow Solar System Symposium (5MS³)*. 13–18 October 2014, Moscow, Russia. Book of abstracts. Abstract 5MS³-PS-17. http://ms2014.cosmos.ru/sites/ms2014.cosmos.ru/files/5m-s3_program-0919.pdf
- [5] Баркин Ю.В. Объяснение эндогенной активности планет и спутников и ее цикличности. *Известия секции наук о Земле Российской академии естественных наук*. Москва, ВИНТИ, 2002, вып. 9, с. 45–97.
- [6] Weber R.C., Lin P.-Y., Garnero E.G., Williams Q., Lognonné P. Seismic Detection of the Lunar Core. *Science*, 21 January 2011, vol. 331, no. 6015, pp. 309–312. doi: 10.1126/science.1199375
- [7] Zotov L.V., Barkin Yu.V., Lubushin A.A. Geocenter motion and its geodynamical content. *Space Geodynamics and Modeling of the Global Geodynamic Processes*, Novosibirsk, Russian Federation, 22–26 September, 2008; Russian Academy of Sciences, Trofimuk Inst. of Petrol. Geol. And Geophys., SB RAS. Novosibirsk: Acad. Publ. House «Geo», 2009. pp. 98–101.
- [8] Красинский Г.А. *Определение селенодинамических параметров из анализа лунных лазерных измерений дальности Луны 1970–2001 гг.* Сообщение Института прикладной астрономии РАН, № 148. St. Peterburg, 2003, 27 с.
- [9] Chapront J., Chapront-Touze M., Francou G. A new determination of lunar orbital parameters, precession constant, and tidal acceleration from LLR. *Astron. Astrophys.*, 2002, vol. 387, pp. 700–709.
- [10] Williams J.G. *Lunar Laser Ranging and the Evolution of Lunar Dynamics*. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. June 2006. Halifax, Nova Scotia (Brower lecture). Ppt.
- [11] Williams J.G., Boggs D.H., Turyshev S.G. *LLR Analysis – JPL Model and Data Analysis LLR Workshop*, Harvard, Boston, MA December 9–10, 2010.
- [12] Williams J.G., Boggs D.H., Ratcliff J.T. *Lunar moment of inertia and Love number*. *42nd Lunar and Planetary Science Conference*. 2011, 2610.pdf
- [13] Williams J.G., Boggs, D.H., Yoder C.F., Ratcliff J.T., Dickey J.O. Lunar rotational dissipation in solid body and molten core. *J. Geophys. Res. Planets*, 2001, vol. 106, pp. 27933–27968.

- [14] Williams J.G., Boggs D.H., Folkner W.M. *DE421 Lunar Orbit, Physical Librations, and Surface Coordinates, Jet Propulsion Laboratory, Interoffice Memorandum*. JPL IOM 335-JW,DB,WF-20080314-001, March 14, 2008, pp. 1–14.
- [15] Morrison L.V., Ward C.G. An analysis of transits of Mercury: 1677–1973. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society MNRAS*, 1975 vol. 173, pp. 183–206.
- [16] Barkin Yu.V., Ferrandiz J.M., Garcia Ferrandez M. Earth, Moon, Mercury and Titan Seismicity: Observed and Expected Phenomena. *36th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, 2005, March 14–18, League City, Texas. 2005. abstract no. 1076. 2p. <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2005/pdf/1076.pdf>.

Статья поступила в редакцию 29.10.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Баркин Ю.В., Баркин М.Ю. Интерпретация необъясненных аномальных вековых изменений большой полуоси и эксцентриситета лунной орбиты в современную эпоху. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 12.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/hidden/1338.html>

Баркин Юрий Владимирович — д-р физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов: теоретическая механика, небесная механика. e-mail: barkin@inbox.ru

Баркин Михаил Юрьевич — ассистент кафедры «Теоретическая механика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ассистент кафедры «Теоретическая механика» Московского авиационного института. Область научных интересов: теоретическая механика, небесная механика. e-mail: barkin@yandex.ru

Interpretation of unexplained abnormal secular change of the semimajor axis and the eccentricity of the lunar orbit in the modern era

© Yu.V. Barkin¹, M.Yu. Barkin^{2,3}

¹ Sternberg SAI, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

³ Moscow Aviation Institute, Moscow, 12599, Russia

Unexplained secular effects in the orbital movement of the Moon are consequences of the discovered in recent years phenomenon of remove of the center of mass of the Moon relative its mantle and crust towards the dark side. Abnormal secular variations of the semimajor axis and the eccentricity of the lunar orbit discussed in modern scientific literature are interpreted as fictitious phenomena. They are conditioned by secular drift of the centre of mass of the Moon relative to its crust and mantle in the direction from the Earth that is towards the dark side of the Moon. An approximate estimate of the drift velocity may be about 5...8 mm/year. The phenomenon and the secular anomalous change of the lunar orbital eccentricity are displayed by precision data of laser observations of the Moon only, but not dynamic features of the movement of the centre of mass of the Moon in space. The abnormal secular change of the orbital eccentricity of the Moon is concerned with the spatial nature of the displacement of the centre of mass of the Moon regarding the system of reflectors on its surface. This is also true for secular and abrupt changes of the orbital elements of the Moon in the laser observation data.

Keywords: shells of planets, light location observations, space geodesy, mantle of the Earth, the core of the Earth.

REFERENCES

- [1] Williams J.G., Boggs D.H. Lunar Core and Mantle. What Does LLR See? Schiliak S., ed. *Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*, 2009, pp. 101–120. Available at: http://cddis.gsfc.nasa.gov/lw16/docs/papers/sci_1_Williams_p.pdf (accessed on 15.09.2014).
- [2] Iorio L. On the anomalous secular increase of the eccentricity of the orbit of the Moon *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 415, 1266–1275. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 02/2011, 415(2). doi:10.1111/j.1365-2966.2011.18777.x Source: arXiv
- [3] Barkin Yu.V. Modern problems of selenodynamics. *Astronomical and Astrophysical Transactions (AAPTr)*, 2010/2011, vol. 27, Issue 1, pp. 101–104. Available at: www.aaptr.com/upload/AAPTR/pdf/101_104_Barkin_V2.pdf
- [4] Barkin Yu., Hanada H., Barkin M. The drift and steps of the center of mass of the Moon with respect to the crust and interpretation of unexplained secular changes of the lunar orbit. *The Fifth Moscow Solar System Symposium (5MS³). 13–18 October, 2014, Moscow, Russia. Book of abstracts. Abstract 5MS³-PS-17*. Available at: http://ms2014.cosmos.ru/sites/ms2014.cosmos.ru/files/5ms3_program-0919.pdf
- [5] Barkin Yu.V. Ob'yasnenie endogennoy aktivnosti planet i sputnikov i ee tsiklichnosti [Explanation of endogenous activity of planets and satellites, and its cyclicity]. *Izvestiya seksii nauk o Zemle Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk* [Proceedings of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences]. Moscow, VINITI, 2002, iss. 9, pp. 45–97.

- [6] Weber R.C., Lin P.-Y., Garnero E.G., Williams Q., Lognonné P. Seismic Detection of the Lunar Core. *Science*, 21 January, 2011, vol. 331, no. 6015, pp. 309–312. doi: 10.1126/science.1199375
- [7] Zotov L.V., Barkin Yu.V., Lubushin A.A. Geocenter motion and its geodynamical content. *Space Geodynamics and Modeling of the Global Geodynamic Processes*, Novosibirsk, Russian Federation, 22–26 September, 2008; Russian Academy of Sciences, Trofimuk Inst. of Petrol. Geol. And Geophys., SB RAS. Novosibirsk: Acad. Publ. House «Geo», 2009. pp. 98–101.
- [8] Krasinsky G.A. Opredelenie selenodinamicheskikh parametrov iz analiza lunnykh lazernykh izmereniy dallnosti Luny 1970–2001 gody [Determination of selenodynamic parameters from the analysis of lunar laser range measurements of the Moon in 1970–2001]. *Report of the Institute of Applied Astronomy RAS*, no. 148. St. Peterburg, 2003, 27 p.
- [9] Chapront J., Chapront-Touze M., Francou G. A new determination of lunar orbital parameters, precession constant, and tidal acceleration from LLR. *Astron. Astrophys.*, 2002, vol. 387, pp. 700–709.
- [10] Williams J.G. *Lunar Laser Ranging and the Evolution of Lunar Dynamics*. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. June 2006. Halifax, Nova Scotia (Brower lecture). Ppt.
- [11] Williams J.G., Boggs D.H., Turyshev S.G. *LLR Analysis – JPL Model and Data Analysis LLR Workshop*, Harvard, Boston, MA December 9–10, 2010.
- [12] Williams J.G., Boggs D.H., Ratcliff J.T. *Lunar moment of inertia and Love number*. *42nd Lunar and Planetary Science Conference*. 2011, 2610.pdf
- [13] Williams J.G., Boggs, D.H., Yoder C.F., Ratcliff J.T., Dickey J.O. Lunar rotational dissipation in solid body and molten core. *J. Geophys. Res. Planets*, 2001, vol. 106, pp. 27933–27968.
- [14] Williams J.G., Boggs D.H., Folkner W.M. *DE421 Lunar Orbit, Physical Librations, and Surface Coordinates*, Jet Propulsion Laboratory, Interoffice Memorandum. JPL IOM 335-JW,DB,WF-20080314-001, March 14, 2008, pp. 1–14.
- [15] Morrison L.V., Ward C.G. An analysis of transits of Mercury: 1677–1973. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society MNRAS*, 1975 vol. 173, pp. 183–206.
- [16] Barkin Yu.V., Ferrandiz J.M., Garcia Ferrandez M. Earth, Moon, Mercury and Titan Seismicity: Observed and Expected Phenomena. *36th Annual Lunar and Planetary Science Conference*, 2005, March 14–18, League City, Texas. 2005. abstract no. 1076. 2p. <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2005/pdf/1076.pdf>.

Barkin Yu.V., Dr. Sci. (Phys.&Math.), professor, leading researcher in Sternberg Astronomical Institute at Lomonosov Moscow State University. Sphere of scientific interests includes theoretical mechanics, celestial mechanics. e-mail: barkin@inbox.ru

Barkin M.Yu., assistant lecturer of the Theoretical Mechanics Department in Bauman Moscow State Technical University, assistant lecturer of the Theoretical Mechanics Department in the Moscow Aviation Institute (Technical University). Sphere of scientific interests includes theoretical mechanics, celestial mechanics. e-mail: barkin@yandex.ru