

Скачки в положении и в скорости векового дрейфа центра масс Луны в 1997–1998 гг.

© Ю.В. Баркин¹, М.Ю. Баркин^{2,3}

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

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

³Московский авиационный институт, Москва, 125993, Россия

В работе изучается наблюдаемое скачкообразное изменение в положении центра масс Луны в 1997–1998 гг. по отношению к ее коре, а также линейные тренды в значениях координат центра масс до скачка и после него. Результаты были предсказаны на основе геодинамической концепции об относительных смещениях и вынужденных колебаниях оболочек планеты (спутника). В результате анализа современных данных для остаточных разностей в дальностях лазерных отражателей, установленных на Луне, за последние примерно 40 лет обнаружены скачкообразные изменения координат центра масс Луны. Получены оценки параметров указанных скачков центра масс Луны. Дана их геодинамическая интерпретация как следствия относительных смещений оболочек (ядра и мантии). Установлены корреляции направлений смещений ядра Луны относительно мантии с ее геофизическими и тектоническими структурами.

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

Введение. Геодинамическая концепция об относительных смещениях и вынужденных колебаниях оболочек планеты (спутника) под гравитационным влиянием окружающих небесных тел получила широкое подтверждение [1]. Смещения оболочек Земли, например ее ядра и мантии, приводят к заметным наблюдаемым смещениям и колебаниям центра масс планеты с широким набором частот и амплитудами около 3...5 см (годовое колебание и двухнедельное колебание). Вековой тренд центра масс Земли в современную эпоху в опорной системе координат спутниковой системы ДОРИС был предсказан в 1995 г. [2], в последующих работах он был подтвержден и уточнен специалистами по космической геодезии.

В работе [3] было предсказано и изучено скачкообразное смещение центра масс Земли в 1997–1998 гг. в земной системе координат. На основе анализа остаточных разностей в дальностях лазерных отражателей на Луне за последние примерно 40 лет были обнаружены скачкообразные изменения координат центра масс Луны [4].

После появления работы [1] была создана геодинамическая модель вынужденных колебаний и смещений оболочек планеты (Земли), которая широко использовалась в науках о Земле. В частности, ее использовали при объяснении векового изменения

глобального уровня океана и средних уровней океана в северном и южном полушариях Земли [5], векового дрейфа полюса оси вращения и неприливного ускорения Земли [6], при объяснении наблюдаемой северной составляющей дрейфа континентов в ходе длительной геологической истории [7], а также многих других явлений, для которых показана ведущая роль геодинамического механизма вынужденных колебаний оболочек Земли. Одно из важных проявлений действия этого механизма — широко наблюдаемые синхронные скачкообразные изменения активности природных явлений на Земле [8, 9].

В данной работе рассматриваются аналогичные смещения центра масс другого небесного тела — Луны по отношению к ее коре. Изучаются скачкообразные изменения положения центра масс Луны и оцениваются составляющие его линейного тренда до и после скачка, причем в тот же самый период — в 1997–1998 гг. Результаты данной работы подтверждают действие геодинамического механизма вынужденных колебаний оболочек (но уже Луны) и его универсальность [1].

1. Скачок в положении светоотражателей на поверхности Луны по отношению к ее центру масс. В последние годы по сейсмографическим данным, полученным еще в эпоху экспедиций космического корабля «Аполлон», довольно уверенно установлена оболочечная структура внутреннего строения Луны, включая ее твердое ядро радиусом (240 ± 20) км и жидкое ядро радиусом (330 ± 10) км [10]. Вокруг жидкого ядра выделяется еще одна оболочка с частично расплавленным материалом и радиусом около (480 ± 10) км.

Согласно развиваемой нами геодинамической концепции, вследствие гравитационного влияния окружающих небесных тел оболочки Луны возбуждаются и испытывают малые относительные трансляционные смещения [11]. Среди этих относительных смещений должны наблюдаться циклические колебания, вековые тренды и изменения, а также значительные скачки. Смещения происходят в силу специфики внутреннего взаимодействия, катастрофических явлений (обрушений, затвердевания и плавления на границе оболочек) и неинерциальных эффектов в движении всей системы оболочек по отношению к барицентру Солнечной системы [12]. В данной работе мы не изучаем небесно-механические аспекты проблемы возбуждения оболочек, а лишь рассматриваем эмпирические особенности скачка центра масс в 1997–1998 гг., тренд центра масс в последние декады и возможные корреляции с аналогичными явлениями на Земле, Солнце и других телах Солнечной системы.

Явления постоянных и циклических смещений центров масс тел Солнечной системы (включая Луну) относительно внешней оболочки

обсуждались в работах [1], [7], [8], [11] и ряде других. Для Луны даны лишь первые предварительные оценки смещений ее центра масс, которые опираются на современные высокоточные измерения дальностей до светоотражателей, установленных на Луне [4], [12]. В работе Г.А. Красинского [2] в результате анализа лунных лазерных измерений было впервые выявлено скачкообразное изменение координат светоотражателей на весьма существенные расстояния — около 15...25 см по осям принятой селенографической системы координат данной эпохи (до скачка) (таблица). Поскольку значения скачков координат для всех четырех наблюдаемых отражателей являются довольно близкими, то естественно было предположить, что скачок произошел в положении центра масс Луны примерно на те же 25...35 см по отношению к лунной коре.

Этот скачок довольно уверенно отражается на графике для остаточных разностей D светолокационных дальностей на рис. 1, что и послужило основой для определения изменений координат светоотражателей до и после скачка.

Приведем также родственную интерпретацию указанных дальностей, выделяя два скачка в 1986–1987 гг. и в 1997–1998 гг. (рис. 2).

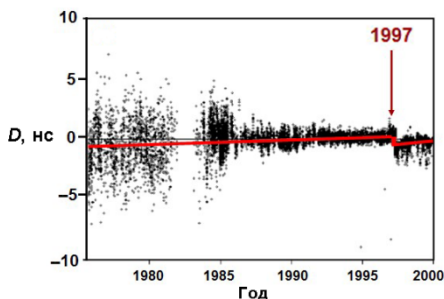


Рис. 1. Остаточные разности D светолокационных дальностей до Луны в 1970–2000 гг. [2]. Скачок светолокационных дальностей в 1997 г. приблизительно $0,48 \text{ нс} = 15 \text{ см}$

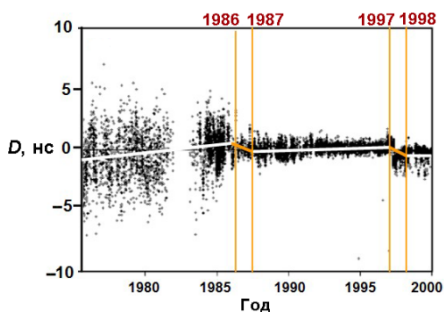


Рис. 2. Возможная двухступенчатая интерпретация изменений остаточных разностей светолокационных дальностей до Луны со скачками в 1986–1987 гг. и в 1997–1998 гг. [2]

Важно подчеркнуть, что на указанные интервалы времени приходятся скачки в активности различных природных процессов, происходящих на Земле, на Солнце и других телах Солнечной системы. Это служит прямым указанием на единство механизма возбуждения оболочек указанных небесных тел [12]. Этот механизм имеет небесно-механическую природу, и его действие определяется орбитальными движениями всех тел Солнечной системы.

Для указанных дат скачкообразные изменения планетарных процессов бурно происходили на нашей планете. На рис. 3 представлена кривая изменения глобальной температуры Земли в 1979–2011 гг. Пики скачков приходятся на 1982–1983, 1987–1988, 1997–1998, 2009–2011 гг.

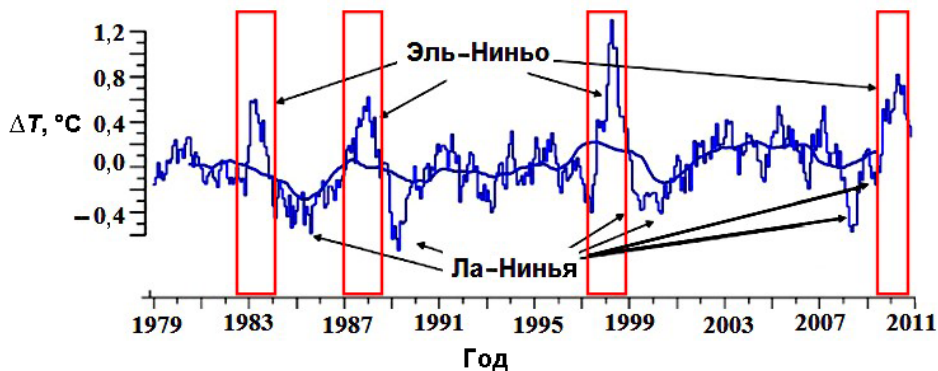


Рис. 3. Температурные аномалии при явлениях Эль-Ниньо и Ла-Нинья в 1979–2011 гг.

Выявленные скачки в положениях светоотражателей на Луне свидетельствуют, что природные потрясения примерно в эти же даты происходили и на Луне. Далее рассмотрим параметры скачка 1997–1998 гг.

В таблице приведены разности D_x , D_y , D_z между двумя наборами координат светоотражателей, отнесенными к моментам времени до и после марта 1998 г. Значения координат задаются для высокоточной лунной эфемериды DE405. Видно, что указанные коррекции для каждого отражателя согласуются между собой. Это делает правдоподобным предположение, что имел место резкий относительный скачок (примерно в марте 1998 г.) лунной коры, с которой светоотражатели жестко скреплены, как единого целого по отношению к центру масс Луны. Можно сказать, что все тело Луны (ее мантия) в 1997–1998 гг. испытало трансляционное смещение относительно собственного центра масс на 25...35 см, и связано это явление с другим, более значимым по величине смещением ядра Луны относительно мантии.

Аналогичный эффект скачкообразного смещения центра масс был описан и изучен нами ранее для Земли [3]. Естественно, что мы ожидали и ожидаем аналогичные смещения для других тел Солнечной системы (Меркурия, Луны, Солнца, Титана, Марса и др.). Заметим, что указанные скачкообразные геодинимические явления для тел Солнечной системы синхронны и, соответственно, должны были наблюдаться именно в 1997–1998 гг.

Скачки в координатах лунных светоотражателей в 1997–1998 гг.

Отражатель	Смещение по осям координат, м		
	D_x	D_y	D_z
Apollo 11	$-0,171 \pm 0,054$	$0,066 \pm 0,083$	$-0,308 \pm 0,077$
Apollo 14	$-0,192 \pm 0,053$	$0,110 \pm 0,104$	$-0,021 \pm 0,096$
Lunachod 2	$-0,090 \pm 0,081$	$0,237 \pm 0,086$	$-0,604 \pm 0,256$
Apollo 15	$-0,117 \pm 0,049$	$0,270 \pm 0,035$	$-0,240 \pm 0,027$

Наибольшее смещение по z — к югу, по x — от Земли, по y — к востоку.

Для средних значений смещений отражателей из таблицы имеем значения (в метрах):

$$D_x = -0,15 \pm 0,04; \quad D_y = 0,23 \pm 0,07; \quad D_z = -0,23 \pm 0,07;$$

$$D = \sqrt{D_x^2 + D_y^2 + D_z^2} = 0,36 \pm 0,11.$$

2. Скачок центра масс Луны по отношению к коре. Приведем средние значения смещений для всех четырех отражателей в сантиметрах. По оси x , направленной к Земле, смещение составляет (-15 ± 4) см, по оси y (смещение к востоку) на (23 ± 7) см и по оси z (смещение к югу) — (23 ± 7) см, т. е. центр масс Луны скачком сместился к географической точке на поверхности Луны с координатами 40° с.ш., 32° з.д. (рис. 4). Смещение весьма значительно — около (36 ± 11) см и произошло в течение нескольких месяцев.

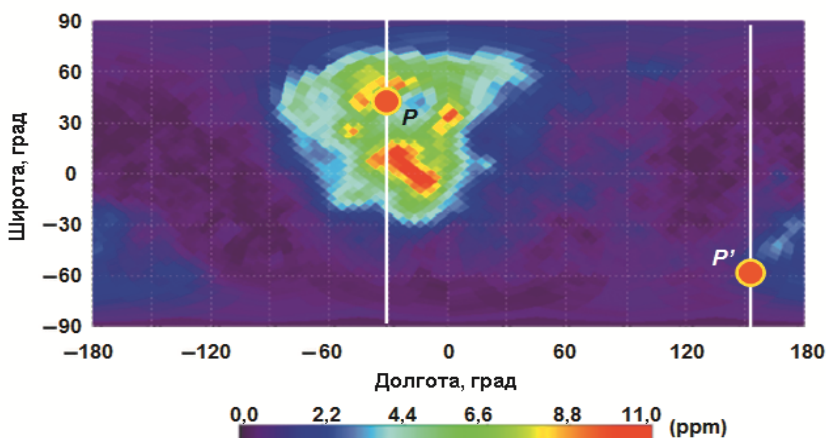


Рис. 4. Карты калиброванного распределения тория (Th) на лунной поверхности по данным измерений в японском проекте «Кагуя» [13] (кружком отмечен полюс, к которому скачком сместилась нижняя оболочка (ядро) и центр масс Луны; $P'P$ — ось смещения; нижняя шкала представляет собой цветовую гамму, отражающую концентрацию тория в единицах $10^{-4}\%$, или ppm).

Указанные параметры смещения являются средними для всех рассматриваемых четырех рефлекторов на поверхности Луны. Для определения этих параметров смещения центра масс в 1997–1998 гг. использовались данные первого из двух решений (решения А) для остаточных разностей, рассмотренных в работе [2]. Смещение произошло вдоль селеноцентрической оси $P'P$ (см. рис. 4).

Объяснить подобное смещение можно только на основе геодинамической модели [1] при предположении, что аналогичное смещение, причем в том же направлении, совершила массивная внутренняя оболочка Луны, такая, как ядро и окружающая ее частично расплавленная оболочка (ее радиус оценивается в 480 км [10]). Указанный скачок центра масс Луны получил подтверждение в данных светолокационных наблюдений [2]. Ранее нами был подтвержден и изучен аналогичный эффект скачкообразного смещения центра масс Земли. По данным наблюдений спутниковой системы ДОРИС за 1997–1999 гг., резкое смещение центра масс Земли в 1997–1998 гг. составило 22,4 мм в направлении географической точки $79,4^\circ$ с.ш., $104,0^\circ$ з.д. [3].

3. О вековом тренде центра масс Луны до скачка 1997–1998 гг. и после него. Иллюстрация указанных трендов представлена на рис. 1. Довольно уверенно тренд наблюдается до скачка в значениях дальностей в 1997–1998 гг. Таким образом, тренды центра масс положительные и происходят по координате z — к северу, по координате x — к Земле. По нашим предварительным оценкам, этот тренд соответствует медленному дрейфу центра масс Луны относительно ее коры по направлению от Земли, т. е. к обратной стороне Луны со скоростью около 1...2 см/год. Это значение скорости дрейфа является предварительным и в дальнейших исследованиях будет уточнено.

Согласно нашей геодинамической модели, фундаментальные формирования на поверхности Луны, расположенные вдоль указанного меридиана, своим происхождением обязаны интенсивной раскачке оболочек Луны, в частности ядра и мантии [1]. К таковым относятся, по-видимому, зоны концентрации элементов урана и тория. В качестве иллюстрации на рис. 4 приводится карта распределения тория.

Аналогичное распределение на Луне наблюдается для калия и урана. Калий, торий и уран являются несовместимыми радиоактивными элементами, которые могут быть сосредоточены в остаточной магме в процессе охлаждения Луны и ведут себя как микроэлементы [13], [14]. Они могли бы также выступать в качестве источника тепла при вулканической активности Луны. Уран и торий — типичные примеры тугоплавких элементов на Луне, распределение которых имеет значение для изучения происхождения Луны. Четкая корреля-

ция наблюдается в положениях зон концентрированного расположения тория (а также урана и калия) с положениями полюсов оси $P'P$. Это указывает на важную геодинамическую и геофизическую роль смещений нижней оболочки (ядра) в ходе геологической истории Луны.

Можно предположить, что направление в относительных смещениях оболочек Луны имеет глубокую геодинамическую природу и играет важную роль в формировании геологических и геофизических структур Луны на геологических интервалах времени подобно тому, как это имеет место на Земле [7].

Выполненное исследование является предварительным, и анализ светолокационных дальностей с целью выявления аномальных изменений в положении центра масс Луны (по отношению к системе отражателей) и в ее орбитальном движении должен быть продолжен, в том числе с привлечением к анализу данных наблюдений новых отражателей, которые планируется установить на поверхности Луны (японская миссия «Селена 2» и др.).

4. Скачки в относительном положении оболочек Луны и возбуждение свободных либраций в ее вращательном движении.

Скачок в положении центра масс Луны весьма значителен по величине. При изучении аналогичных скачков в положении центра масс Земли [3] было установлено, что они приводят к деформациям всех слоев мантии, включая поверхностные слои. Аналогичная ситуация имеет место для Луны. При смещении центра масс ее поверхностные слои испытывают подъем в одном полушарии (в том, по отношению к которому произошел скачок) и опускание в противоположном полушарии. При этом компоненты тензора инерции Луны испытывают скачкообразные изменения, в результате которых скачком изменяется положение вектора кинетического момента вращательного движения Луны и ее угловой скорости. Другими словами, в момент скачка меняются начальные условия задачи о вращении Луны и возбуждаются свободные колебания нового типа.

Подобная смена типов свободных либраций Луны произошла в период 1997–1998 гг. Поэтому возникает важная прикладная задача по проверке сформулированных положений о механизме возбуждения свободных колебаний Луны и по определению параметров ее свободных либраций для различных периодов времени, например 1987 г. — середина 1997 г. и середина 1998 г. — середина 2010 г. Определению подлежат как три основные моды либрации, так и 4-я и 5-я моды, вызванные жидким ядром и твердым ядром [15].

Медленный вековой дрейф центра масс Луны приводит к вековому изменению фигуры Луны. Компоненты тензора инерции

испытывают медленные вековые вариации. Важная задача — определить вековые вариации коэффициентов селенопотенциала и интерпретировать их с позиций рассматриваемой геодинамической модели. Предстоит определить и изучить как приливные, так и неприливные деформации, вызванные смещениями и колебаниями оболочек Луны.

Заключение. По данным измерений светолокационных дальностей до отражателей на Луне удастся выявить трендовые и скачкообразные изменения координат ее центра масс по отношению к коре, на которой расположены светоотражатели. Эти вариации в положении центра масс Луны по своей природе аналогичны соответствующим вариациям в положении центра масс Земли. Скачок в значениях координат Луны составляет около 30 см, и произошел он в 1997–1998 гг, как и скачок центра масс Земли (около 2 см). Полученные результаты подтверждают активное действие механизма вынужденной раскачки и относительных колебаний оболочек Луны под действием гравитационного притяжения окружающих небесных тел [1].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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.
- [2] Krasinski G.A. Determination of selenodynamic parameters from the analysis of lunar laser range measurements of the Moon 1970–2001 period. *Message of the Institute of Applied Astronomy*, 2003, no. 148, 27 p.
- [3] Баркин Ю.В. О движении центра масс Земли, обусловленном глобальным изменением ее динамического строения и приливными деформациями. *Вестник МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия*, 1995, т. 36, № 5, с. 99–101.
- [4] Зотов Л.В., Баркин Ю.В., Любушин А.А. Движение геоцентра и его геодинамика. *Тр. конф. «Космическая геодинамика и моделирование глобальных геодинамических процессов»*, Новосибирск, 22–26 сентября, 2009 г., Сибирское отделение РАН. Новосибирск, Гео, 2009, с. 98–101.
- [5] Баркин Ю.В. Объяснение вековых изменений среднего глобального уровня океана и средних уровней океана в северном и южном полушариях Земли. *Вестник МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия*, 2011, № 4, с. 75–83.
- [6] Barkin Yu.V. Mechanism of non-tidal acceleration and secular pole drift of the Earth and prediction of similar phenomena for Mars. *Proceedings of the 6th Orlov Conference «The study of the Earth as a planet by methods of geophysics, geodesy, and astronomy» devoted to the 100th anniversary of E. P. Fedorov, June 22–24, 2009, MAO NAS of Ukraine, Kiev*. Kiev, Akadempriodyka, 2009, pp. 104–107.
- [7] Гончаров М.А., Разницин Ю.Н., Баркин Ю.В. Особенности деформации континентальной и океанической литосферы как следствие северного дрейфа ядра Земли. *Геодинамика и тектонофизика*, 2012, т. 3. № 1, с. 27–54. doi: 10.5800/GT-2012-3-1-0060 (дата обращения 12.06.2014).
- [8] Баркин Ю.В. Синхронные скачки активности природных планетарных процессов в 1997–1998 гг. и их единый механизм. *Геология морей и океа-*

нов: *Материалы XIX Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии*, т. V. Москва, ГЕОС, 2011, с. 28–32.

- [9] Barkin Yu.V. General rhythms of the solar system bodies. XXV General Assembly of EGS (Nice, France 25–29 April 2000) PS 6. *News Letter European Geophysical Society*, March 2000, no. 74, p. 257.
- [10] Weber R.C., Lin P.-Y., Garnero E.G., Williams Q., Lognonné P. Seismic Detection of the Lunar Core. *Science*, 2011, vol. 331, no. 6015, pp. 309–312. doi: 10.1126/science.1199375 (дата обращения 10.09.2014).
- [11] Barkin Yu.V. (2011) Modern problems of selenodynamics. *Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr)*, 2010/2011, vol. 27, no. 1, pp. 101–104.
- [12] Баркин Ю.В. Синхронные скачки в процессах и явлениях на Земле, Луне и Солнце в 1997–1998 гг. и их единый механизм. *Геология морей и океанов: Материалы XX Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии*, т. V. Москва, ГЕОС, 2013, с. 21–25.
- [13] Forni O., Gasnault O., Yamashita N., D’Uston C., Hasebe N., Reedy R.C., Karouji Y., Kobayashi S., Hareyama M., Kobayashi M.-N., K.J. Kim. Potassium-Thorium Ratio on the moon: new results from Kaguya-GRS. *European Planetary Science Congress Abstracts*, 2010, vol. 5, EPSC2010-556.
- [14] Yamashita N., Hasebe N., Reedy R.C., Kobayashi S., Karouji Y., Hareyama M., Shibamura E., Kobayashi M.-N., Okudaira O., D’Uston C. Uranium on the Moon: global distribution and U/Th ratio. *Geophys. Res. Lett.*, 2010, vol. 37, L10201.
- [15] Barkin Y., Hanada H., Ferrandiz J., Matsumoto K., Jin S., Barkin M. The theory of the physical libration of the Moon with a liquid core. Shuanggen J., ed. *Planetary Geodesy and Remote Sensing*. Taylor & Francis/CRC, 2014, pp. 315–376.

Статья поступила в редакцию 03.10.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Баркин Ю.В., Баркин М.Ю. Скачки в положении и в скорости векового дрейфа центра масс Луны в 1997–1998 гг. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 10.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/hidden/1335.html>

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

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

Jumps in the position and velocity of the secular drift of the center of mass of the Moon in 1997–1998

© Yu.V. Barkin¹, M.Yu. Barkin^{2,3}

¹Sternberg Astronomical Institute at Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia

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

³Moscow Aviation Institute, Moscow, 125993, Russia

In this paper we study the observed abrupt change in the position of the center of mass of the Moon in 1997–1998, linear trends in coordinates of the center of mass and the abrupt change of the trend velocity in 1997–1998. These results are based on geodynamic concept of the forced relative displacements and forced vibrations of shells of the planet (satellite) and on the basis of current data of laser observations of the Moon for the last 40 years. We have obtained estimates of the drift parameters and of the center of mass of the Moon. their geodynamic interpretation of relative displacement as a consequence of the shells (core and mantle) was given. Correlations of direction relative displacements of the core and mantle with its geophysical and tectonic structures were found.

Keywords: shells of the planet, laser observations, space geodesy, the mantle of the Earth, the Earth's core.

REFERENCES

- [1] Barkin Yu.V. *Izvestiya seksii nauk o Zemle Rossiyskoi akademii estestvennykh nauk — Earth Sciences Section Russian Academy of Natural Sciences*, 2002, no. 9, pp. 45–97.
- [2] Krasinski G.A. Determination of selenodynamic parameters from the analysis of lunar laser range measurements of the Moon 1970 - 2001 period. *Message of the Institute of Applied Astronomy*, 2003, .no. 148, 27 p.
- [3] Barkin Yu.V. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya 3. Fizika, astronomiya — Moscow University Bulletin. Series 3. Physics, astronomy*, 1995, vol. 36, no. 5, pp. 99–101.
- [4] Zotov L.V., Barkin Yu.V., Lubushin A.A. Dvizhenie geotsentra i ego geodinamika [Geocenter motion and its geodynamical content]. *Trudy konferentsii “Kosmicheskaya dinamika i modelirovanie globalnykh geodinamicheskikh protsessov”* [Space dynamics and Modeling of the Global Geodynamic Processes], *Novosibirsk, 22–26 September, 2009*. Siberian Branch RAS, Novosibirsk, Geo Publ., 2009, pp. 98–101.
- [5] Barkin Yu.V. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya 3. Fizika, astronomiya — Moscow University Bulletin. Series 3. Physics, astronomy*, 2011, no. 4, pp. 75–83.
- [6] Barkin Yu.V. Mechanism of non-tidal acceleration and secular pole drift of the Earth and prediction of similar phenomena for Mars. *Proceedings of the 6th Orlov Conference “The study of the Earth as a planet by methods of geophysics, geodesy, and astronomy” devoted to the 100th anniversary of E.P. Fedorov, June 22–24, 2009, MAO NAS of Ukraine, Kiev*. Kiev, “Akademperiodyka”, pp. 104–107.

- [7] Goncharov M.A., Raznitsin Yu.N., Barkin Yu.V. *Geodinamika i tektonofizika — Geodynamics and Tectonophysics*, 2012, vol. 3, no. 1. pp. 27–54. doi: 10.5800/GT-2012-3-1-0060 (accessed on 12.06.2014).
- [8] Barkin Yu.V. Sinkhronnye skachki aktivnosti prirodnykh planetarnykh protsessov v 1997–1998 godakh i ikh edinyi mekhanizm [Synchronous racing activity of natural planetary processes in 1997–1998 and a single mechanism]. *Geologiya morei i okeanov: Materialy XIX Mezhdunarodnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii* [Geology of seas and oceans: Proceedings XIX International Scientific Conference (School) in Marine Geology], vol. V. Moscow, GEOS Publ., 2011, pp. 28–32.
- [9] Barkin Yu.V. General rhythms of the solar system bodies. XXV General Assembly of EGS (Nice, France 25-29 April 2000) PS 6. *News Letter European Geophysical Society*, March 2000, no. 74, pp. 257.
- [10] Weber R.C., Lin P.-Y., Garnero E.G., Williams Q., Lognonné P. Seismic Detection of the Lunar Core. *Science*, 2011, vol. 331, no. 6015, pp. 309–312. doi: 10.1126/science.1199375 (accessed on 10.09.2014).
- [11] Barkin Yu.V. Modern problems of selenodynamics. *Astronomical and Astrophysical Transactions (AaPTr)*, 2010/2011, vol. 27, no. 1, pp. 101–104.
- [12] Barkin Yu.V. Sinkhronnye skachki v protsessakh i yavleniyakh na Zemle, Lune i Solntse v 1997–1998 godakh i ikh edinyi mekhanizm [Synchronous jumps in the processes and phenomena on the Earth, Moon and Sun in 1997–1998 and thier single mechanism]. *Geologiya morei i okeanov: Materialy XIX Mezhdunarodnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii* [Geology of seas and oceans: Proceedings XIX International Scientific Conference (School) in Marine Geology], vol. V. Moscow, GEOS Publ., 2013, pp. 21–25.
- [13] Forni O., Gasnault O., Yamashita N., D'Uston C., Hasebe N., Reedy R.C., Karouji Y., Kobayashi S., Hareyama M., Kobayashi M.-N., K.J. Kim. Potassium-Thorium Ratio on the moon: new results from Kaguya-GRS. *European Planetary Science Congress Abstracts*, 2010, vol. 5, EPSC2010-556.
- [14] Yamashita N., Hasebe N., Reedy R.C., Kobayashi S., Karouji Y., Hareyama M., Shibamura E., Kobayashi M.-N., Okudaira O., D'Uston C. Uranium on the Moon: global distribution and U/Th ratio. *Geophys. Res. Lett.*, 2010, vol. 37, L10201.
- [15] Barkin Y., Hanada H., Ferrandiz J., Matsumoto K., Jin S., Barkin M. The theory of the physical libration of the Moon with a liquid core. Shuanggen J., ed. *Planetary Geodesy and Remote Sensing*. Taylor & Francis/CRC, 2014, pp. 315–376.

Barkin Yu.V., Dr. Sci. (Phys.&Math.), professor, Leading Researcher in 1Sternberg Astronomical Institute at Lomonosov Moscow State University. 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). e-mail: barkin@yandex.ru