

УДК 550.3, 551.2, 528.22

ДРЕЙФ ЦЕНТРА МАСС ЗЕМЛИ И ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ*

© 2010 г. Ю.В. Баркин

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, г. Москва, Россия

Показано, что вековое смещение центра масс Земли (дрейф), наблюдаемое методами космической геодезии, и деформация поверхности Земли дают наиболее значительные вклады в вековые изменения силы тяжести на поверхности Земли, которые фиксируются с помощью абсолютных и сверхпроводящих гравиметров. Простейшие оценки векового изменения силы тяжести на данной станции могут быть сделаны непосредственно по вековой вариации высоты станции, определенной по спутниковым данным *GPS* наблюдений. Эти данные определяют тренд станции непосредственно по отношению к дрейфующему центру масс Земли. Однако, они не позволяют оценить вклады указанных выше эффектов: дрейфа центра масс и изменения высоты станции из-за деформации, а фактически определяют их разность. Выполненный анализ позволил оценить вклад дрейфа центра масс Земли в вариации силы тяжести на данной гравиметрической станции, а также вклад деформации поверхности Земли и соответствующего изменения высоты станции. Для 8 известных и ведущих гравиметрических станций указанные составляющие вариаций силы тяжести были вычислены. Было показано, что указанные два фактора являются основными, а их сумма в основном объясняет наблюдаемые в настоящее время вариации силы тяжести на ряде известных гравиметрических станций: Нью Алесунд (Норвегия), Сева (Антарктида), Черчилл (Канада), Вухан (Китай), Медичина (Италия), Болонья (Италия), Мембах (Бельгия) и Метсахови (Финляндия).

Ключевые слова: вариации силы тяжести, вариации высот, дрейф центра масс Земли.

Введение

Еще в давние времена ученые задавались вопросом о возможных смещениях центра масс Земли вследствие перераспределения ее масс. Одним из первых эту проблему исследовал М.В. Ломоносов, который "... сделал четыре новоизобретенных пендула (маятника)..., чтобы узнать всегда ли с Земли центр, притягивающий к себе тяжелые тела, стоит неподвижно или перемещает место" (из переписки М.В. Ломоносова [Куликовский, 1986]). При помощи указанных приборов проводились измерения непрерывно с 1756 по 1764 г., но, так как точность не отвечала требованиям поставленного исследования, М.В. Ломоносов вынужден был констатировать: "колебания силы тяжести столь малы, что упомянутым прибором не могли быть подмечены" [Куликовский, 1986; Авсюк, Левин, 1999]. Более того, М.В. Ломоносов фактически поставил обратную задачу – об определении возможных смещений центра масс по гравиметрическим измерениям [Barkin, 2010a,б].

Позднее гравиметристы не раз обращали внимание на взаимосвязь возможных смещений центра масс и перераспределения масс Земли и их отражений в показаниях гравиметрических приборов [Грушинский, 1983]. Два с половиной века ушло на разработку данной проблемы и поиск ответа на вопрос: если вековые изменения силы тяжести имеют место в реальной действительности, то каковы основные механизмы этих изменений? В данной работе дается ответ на указанный вопрос. Вековые изменения силы тяжести – это реальное явление, которое установлено и наблюдается на многих гравиметрических станциях мира. Основными факторами установленных вариаций силы

тяжести являются: изменения силы гравитационного притяжения из-за дрейфа центра масс Земли в северном направлении и деформации поверхности Земли по отношению к заданной опорной мантийной системе координат.

Полярный дрейф центра масс Земли в северном направлении был теоретически предсказан автором в 1995 г. [Баркин, 1995] и впоследствии получил подтверждение в спутниковых наблюдениях методами космической геодезии [Tatevian, Kuzin, Kaftan, 2005; Баркин, Зотов, Любушин, 2007; Zotov, Barkin, Lubushin, 2009]. Выполненные исследования показали, что указанный дрейф центра масс Земли характеризуется значительной скоростью (около 5–6 мм/год) и не может быть объяснен известными перераспределениями поверхностных масс Земли, но вполне естественно объясняется с помощью механизма однонаправленного дрейфа центра масс внешнего ядра Земли [Баркин, 1995, 1996а,б, 2009а; Barkin, 2005]. По нашим геодинамическим исследованиям вековой дрейф центра масс ядра относительно центра масс мантии в современную эпоху происходит со скоростью 2.6 ± 0.4 см/год по направлению к полюсу с координатами 70° с.ш., 104° в.д. (район п-ва Таймыр) [Barkin, 2001; Баркин, 2008]. Избыточная масса внешнего ядра (вызванная контрастом средней плотности ядра и плотности при подошве мантии) оценивается примерно в 16.7 масс Луны. В данной работе для широкого списка гравиметрических станций, распределенных по всему миру, получены теоретические значения вековых вариаций силы тяжести и высот станций, обусловленных дрейфом ядра Земли (ее центра масс) (табл. 1; см. в конце статьи). При учете векового дрейфа центра масс ядра Земли и с учетом данных о вековых изменениях GPS высот дано объяснение наблюдаемым вековым вариациям силы тяжести на ведущих гравиметрических станциях: Нью Алесунд (Норвегия), Сева (Антарктида), Черчилл (Канада), Вухан (Китай), Медичина (Италия), Болонья (Италия), Мембах (Бельгия) и Метсахови (Финляндия) (табл. 2; см. в конце статьи).

Вековой дрейф центра масс ядра и центра масс Земли

Вековой дрейф центра масс Земли к северу по отношению к специальному центру O на оси вращения Земли, для которого коэффициент третьей зональной гармоники J_3' обращается в нуль, был предсказан в работе автора [Баркин, 1995]. Дрейф происходит по направлению к географической точке (полюсу P) $70^\circ 0'$ с.ш. и $104^\circ 3'$ в.д. Впервые оно было установлено теоретически в других работах автора (см., например [Barkin, 2001]) в результате модельного анализа глобального направленного перераспределения масс Земли, объясняющего вековой дрейф полюса оси вращения Земли и неприливное ускорение ее осевого вращения. В [Баркин, 1995; Barkin, 2010] скорость дрейфа была оценена в 1–2 см/год. Для указанного центра O фигура планеты как бы лишена грушевидности ($J_3' = 0$). И в этом смысле точка может быть условно сопоставлена геоцентру Земли, приближенно определяемому по положению станций спутниковых наблюдений, как центр определенной мантийной системы координат O_{xyz} . Для объяснения такого значительного дрейфа центра масс Земли был предложен механизм однонаправленного смещения ядра Земли (и его центра масс) относительно вязкоупругой мантии [Баркин, 1996а,б]. В последующие годы неоднократно предпринимались попытки определения скорости векового дрейфа центра масс по отношению к мантийной системе координат методами космической геодезии на основе высокоточных спутниковых наблюдений. В работах [Баркин, Зотов, Любушин, 2007; Zotov, Barkin, Lubushin, 2009] для определения тренда центра масс использовались данные международной службы вращения Земли (IERS) для спутниковых наблюдений системы DORIS.

В качестве базовой системы координат выберем мантийную систему координат $Oxyz$, задаваемую базовой системой станций системы *DORIS*, по отношению к которой определялись координаты центра масс Земли. На основе известных временных рядов системы *DORIS* для координат центра масс в основной системе координат $Oxyz$ (данные Международной службы вращения Земли) были определены составляющие скорости дрейфа центра масс Земли для интервала времени наблюдений 1993–2007 гг. [Zotov, Barkin, Lubushin, 2009]:

$$\dot{x}_C = -1.75 \pm 0.06 \text{ мм/год}; \quad \dot{y}_C = 0.27 \pm 0.06 \text{ мм/год}; \quad \dot{z}_C = 5.24 \pm 0.29 \text{ мм/год}. \quad (1)$$

На основе данных названной работы для составляющих скорости дрейфа центра масс в той же геоцентрической гринвичской системе координат, но для более короткого промежутка времени 1999–2007 гг., были получены аналогичные оценки:

$$\dot{x}_C = -1.46 \pm 0.05 \text{ мм/год}; \quad \dot{y}_C = 0.79 \pm 0.05 \text{ мм/год}; \quad \dot{z}_C = 5.29 \pm 0.15 \text{ мм/год}. \quad (2)$$

В этом случае линейный тренд центра масс характеризуется скоростью 5.54 ± 0.16 мм/год, а направление дрейфа – широтой $72^\circ 6' \pm 10^\circ 5'$ с.ш. и долготой $118^\circ 4' \pm 0^\circ 68'$ в.д. Это направление смещения центра масс хорошо согласуется с направлением, предсказанным ранее теоретически [Barkin, 2001; Баркин, 2005]: 70° с.ш. и $104^\circ 3'$ в.д. Модельные исследования векового направленного перераспределения масс Земли были выполнены на основе модели точки переменной массы [Barkin, 2001]. Она представляет собой материальную точку с медленно нарастающей массой и расположенной на поверхности Земли в указанном полюсе P с координатами $70^\circ 0'$ с.ш. и $104^\circ 3'$ в.д. Допускается, что масса точки аккумулируется со всей поверхности Земли. Фактически указанная модель есть простейшая модель направленного прилива флюидных масс в верхних слоях Земли под действием гравитационного притяжения, смещающегося к полюсу P ядра Земли. Выполненные исследования показали, что эта модель хорошо объясняет вековые вариации коэффициентов геопотенциала $\dot{J}_2, \dot{J}_3, \dot{J}_4, \dot{J}_6, \dot{J}_8, \dot{C}_{21}, \dot{S}_{21}$, но не может объяснить вариации коэффициентов первой гармоники геопотенциала: $\dot{C}_{11}, \dot{S}_{11}$ и \dot{C}_{10} (в базовой системе координат, принятой для наблюдений станций системы *DORIS*). Эти вариации можно оценить по полученным из наблюдений значениям составляющих скоростей дрейфа центра масс (2):

$$\begin{aligned} \dot{C}_{11} &= \dot{x}_C / r_\oplus = (-22.92 \pm 0.94) \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}, \\ \dot{S}_{11} &= \dot{y}_C / r_\oplus = (12.40 \pm 0.94) \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}, \\ \dot{C}_{10} &= \dot{z}_C / r_\oplus = (83.03 \pm 2.35) \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}. \end{aligned} \quad (3)$$

Эти значения примерно в 25 раз больше модельных значений, которые составляют [Barkin, 2001]

$$\begin{aligned} \dot{C}_{11} &= (-0.73 \pm 0.11) \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}, \\ \dot{S}_{11} &= (1.18 \pm 0.18) \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}, \\ \dot{C}_{10} &= (3.24 \pm 0.48) \cdot 10^{-11} \text{ 1/год}. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, модель направленного перераспределения масс Земли в виде точки переменной массы хорошо моделирует вариации второй и более высоких гармоник геопотенциала, но не объясняет изменений первой гармоники (объясняет лишь малую часть наблюдаемого смещения центра масс (2) ($\sim 4\%$)). Большие значения вековых скоростей (3) можно было бы объяснить в рамках модели точек переменной массы [Barkin, 2001], если увеличить примерно в 25 раз скорость изменения массы модельной точки из указанной работы. Но этого нельзя сделать, так как при этом успешное моделирование коэффициентов второй и высших гармоник геопотенциала будет утрачено. А это означает, что следует искать другую причину создавшейся ситуации, поскольку пере-

распределение масс в верхних слоях Земли никак не может объяснить наблюдаемый дрейф центра масс, что и подтверждается многочисленными исследованиями перераспределения флюидных масс на планете. Выход только один – допустить, что центры масс основных и наиболее массивных оболочек планеты испытывают значительные смещения друг относительно друга. При этом их смещения вносят самый большой вклад в вариации коэффициентов первой гармоники, не оказывая заметного влияния на коэффициенты второй и высших гармоник геопотенциала. Приведенные здесь рассуждения опираются на геодинамическую модель вынужденных относительных смещений и колебаний ядра и мантии и других оболочек Земли под действием гравитационного влияния внешних небесных тел [Баркин, 2002]. Фактически они свидетельствуют в пользу реальности относительного смещения ядра и мантии Земли (точнее говоря – направленного векового дрейфа центра масс ядра относительно центра масс мантии). Выполненное моделирование перераспределения масс Земли (точечная модель) служит одним из веских доказательств смещений и дрейфа ядра Земли относительно вязкоупругой мантии в современную эпоху. Другими свидетельствами дрейфа ядра служат, например, данные о циклической миграции сейсмической и вулканической активности между северным и южным полушариями Земли и ее “зеркальности”, медленное нарастание глобальной сейсмической и вулканической активности [Горькавый, Трапезников, Фридман, 1994; Белов, Шестопалов, Харин, 2009; Фридман, Поляченко, Гасырканов, 2010; Barkin, 2007a,b], контрастное нарастание средних уровней океана в северном и южном полушариях Земли [Barkin, 2007a,b; Barkin et al., 2008; Barkin, 2009d, 2010c]. На основе указанной геодинамической модели возбуждения оболочек небесного тела получили динамическую интерпретацию такие сложные явления как высокая активность полярных областей планет и спутников [Barkin, 2009c], явление ступенчатых (катастрофических) вариаций активности природных процессов [Баркин, 2009б], явления циклическости и синхронности природных процессов на Земле и на телах Солнечной системы в целом [Баркин, 2002, 2009в], дана интерпретация наблюдаемым циклическим инверсионным изменениям климата в северном и южном полушариях Земли [Barkin, 2009a]. Все указанные явления фактически были предсказаны автором на основе геодинамической модели вынужденной раскачки и колебаний системы оболочек Земли под действием гравитационного притяжения внешних небесных тел и впоследствии получили четкие подтверждения в данных геодинамических и геофизических наблюдений. В общем случае речь, конечно, идет не только о вековом тренде, а о широком спектре колебаний системы ядро-мантия, сопровождающихся циклическими и синхронными вариациями всех наблюдаемых планетарных природных процессов в самых разнообразных шкалах времени, включая геологическую.

Перераспределение поверхностных масс Земли, в частности вызванных смещением центра масс Земли, также приводит к изменению силы тяжести в данном пункте на поверхности Земли. Наблюдаемые медленные изменения гравитационного поля Земли, характеризующиеся соответствующими изменениями коэффициентов второй, третьей и более высоких гармоник геопотенциала, также могут быть учтены при определении вариаций силы тяжести. Однако, эта вековая составляющая характеризуется малой величиной. Например, вековое изменение коэффициента второй гармоники геопотенциала $\dot{J}_2 = (-2.9 \pm 0.4) \cdot 10^{-11}$ 1/год [Cheng, Shum, Tapley, 1997] приводит к дополнительной вариации силы тяжести со скоростью $\dot{g} \approx -0.05-0.10$ мкГал/год (в зависимости от места расположения гравиметрической станции). В данной работе указанные малые поправки к вариациям силы тяжести не рассматриваются, а показано, что определяющий вклад в эти вариации вносит дрейф центра масс Земли и деформации ее поверхности.

Вековой дрейф ядра к северу и вариации силы тяжести на поверхности Земли

Смещающееся ядро Земли обладает колоссальной избыточной массой примерно в 17 масс Луны. Избыточная масса определяется контрастными значениями средних плотностей ядра и мантии (близ подошвы) и составляет 19.32% массы всей Земли [Баркин, 2002]. При смещении ядра относительно вязкоупругой мантии его избыточная масса вызывает наблюдаемый дрейф центра масс, а также приводит к изменениям силы тяжести на поверхности планеты. Кроме этого гравитационное притяжение смещающегося ядра вызывает деформации всех слоев мантии, включая поверхностный слой. Деформированная мантия создает дополнительный гравитационный потенциал, который дает дополнительный вклад в значение силы тяжести. Таким образом, отмеченные факторы приводят к вековой вариации силы тяжести, которая описывается простой формулой [Barkin, 2001; Баркин, 2005]:

$$\dot{g} = 2g \frac{\Delta m_c}{m_\oplus} (1 - h_{-2} - 0.5k_{-2}) \frac{\dot{\rho}}{r_\oplus} \sin \Theta, \Delta m_c = 0.1932m_\oplus, g = 9.82022 \text{ м/с}^2. \quad (5)$$

Здесь $\Delta m_c = 0.1932m_\oplus$ – избыточная масса ядра Земли в массах Земли m_\oplus ; g – ускорение свободного падения; k_{-2} и h_{-2} – числа Лява порядка (-2) ; $\dot{\rho}$ – скорость дрейфа центра масс ядра относительно центра масс мантии; Θ – угол между направлением на полюс P , по направлению к которому дрейфует ядро Земли (или ее центр масс), и на заданную гравиметрическую станцию. Для грубых оценок гравиметрических эффектов от векового дрейфа центра масс в качестве полюса P принимался северный полюс Земли. При этом $\Theta = \pi/2 - \varphi$ есть дополнение до широты. При более точном описании дрейфа центра масс Земли (или ее ядра) угол Θ определяется формулой $\cos \Theta = \cos \varphi_p \cos \varphi \cos(\lambda_p - \lambda) + \sin \varphi_p \sin \varphi$, где φ_p и λ_p – широта и долгота полюса P ; φ и λ – широта и долгота станции. Числа Лява порядка (-2) впервые были оценены в работе [Баркин, 2005]: $k_{-2} = -0.005004$ и $h_{-2} = 0.0062154$. Приблизительно можно положить $\dot{\rho} m_\oplus = \Delta m_c \dot{r}_c$, где \dot{r}_c – скорость дрейфа центра масс Земли. Тогда, пренебрегая малыми эффектами, для вариации силы тяжести (1), вызванной вековым дрейфом центра масс, получаем выражение

$$\dot{g}_r = 2\dot{r}_c g \cos \Theta / r_\oplus = 2\dot{r}_c g [\cos \varphi_p \cos \varphi \cos(\lambda_p - \lambda) + \sin \varphi_p \sin \varphi] / r_\oplus \quad (6)$$

или

$$\dot{g}_r = 2g [\dot{x}_c \cos \varphi \cos \lambda + \dot{y}_c \cos \varphi \sin \lambda + \dot{z}_c \sin \varphi] / r_\oplus, \quad (7)$$

а также аналогичное дифференциальное соотношение для оценок погрешностей вычислений

$$\Delta \dot{g}_r = 2g [\Delta \dot{x}_c \cos \varphi \cos \lambda + \Delta \dot{y}_c \cos \varphi \sin \lambda + \Delta \dot{z}_c \sin \varphi] / r_\oplus. \quad (8)$$

Для принятой в данной работе модели дрейфа центра масс (2) соотношения (6)–(7) можно записать в виде

$$\dot{g}_r = (-0.549 \cos \varphi \cos \lambda + 0.085 \cos \varphi \sin \lambda + 1.645 \sin \varphi) \cdot 10^{-9} g \text{ 1/год}, \quad (9)$$

$$\Delta \dot{g}_r = (0.019 |\cos \varphi \cos \lambda| + 0.019 |\cos \varphi \sin \lambda| + 0.091 |\sin \varphi|) \cdot 10^{-9} g. \quad (10)$$

Для вариации высоты станции наблюдений, также вызванной вековым дрейфом центра масс (2), получаем аналогичные формулы

$$\dot{h} = -\dot{x}_c \cos \varphi \cos \lambda - \dot{y}_c \cos \varphi \sin \lambda - \dot{z}_c \sin \varphi, \quad (11)$$

$$\Delta \dot{h} = \Delta \dot{x}_c \cos \varphi \cos \lambda + \Delta \dot{y}_c \cos \varphi \sin \lambda + \Delta \dot{z}_c \sin \varphi \quad (12)$$

или

$$\dot{h} = 1.75 \cos \varphi \cos \lambda - 0.27 \cos \varphi \sin \lambda - 5.24 \sin \varphi \text{ мм/год}, \quad (13)$$

$$\Delta \dot{h} = 0.06 |\cos \varphi \cos \lambda| + 0.06 |\cos \varphi \sin \lambda| + 0.29 |\sin \varphi| \text{ мм}. \quad (14)$$

Подчеркнем, что высота станции определяется по отношению к дрейфующему центру масс, как это фактически принято в длительных рядах *GPS* наблюдений.

Отметим, что гравитационное притяжение смещающегося ядра приводит также к эффекту возрастания горизонтальной составляющей силы притяжения Земли на ее поверхности, направленной к северу вдоль соответствующего меридиана с полюсом *P* [Баркин, 2009]. Эта составляющая характеризуется положительными значениями скорости нарастания составляющей (по величине порядка 1 мкГал/год), что указывает на ее общее направление к северу. Она имеет первостепенное значение для медленного (эволюционного) перераспределения масс Земли вдоль направления юг–север (в соответствующих шкалах времени) и будет изучена в отдельной работе. В работах [Разницин, Баркин, 2010; Гончаров, Разницин, Баркин, 2010] исследованы крупные тектонические структуры Земли на поверхности континентов и на дне океана с характерной ориентацией и простираем по направлению юг–север (с субмеридиональной направленностью) и показано, что их природа тесно связана с гравитационным воздействием на верхние слои коры и литосферы (вдоль меридианов) дрейфующего к северу ядра Земли.

Формулы (6)–(8) и (11)–(14) позволяют вычислить вековые вариации силы тяжести и высот, вызванные смещением центра масс Земли, а также их погрешностей для любой гравиметрической станции с заданными географическими координатами φ и λ .

Расчетные значения вариаций силы тяжести и высот станций, обусловленные вековым дрейфом центра масс Земли

Расчетные значения гравиметрических характеристик (9) и (11) для широкого списка гравиметрических станций и для заданного режима дрейфа центра масс Земли (2) получены в данной работе и приводятся в табл. 1. Эти результаты уточняют и дополняют аналогичные результаты, полученные в работе [Баркин, 2009б] для четырех гравиметрических станций, на случай дрейфа центра масс, описываемого формулами (2). Если притягивающий центр сближается с гравиметрической станцией, то измеряемая на ней сила тяжести возрастает. И, наоборот, при удалении центра масс Земли от станции сила тяжести убывает. Исторически сложилось так, что современные спутниковые *GPS* определения высот станции характеризуют изменения расстояния между подвижным (дрейфующим) центром масс Земли и станцией. Тренд центра масс в этой системе измерений дальностей фактически исключается из рассмотрения. Но подобным недостатком не обладает другая космическая система измерений – *DORIS*, поэтому в нашей работе используются данные для этой системы. Для наших исследований важной характеристикой является вековая вариация высоты станции не по отношению к центру масс Земли, а по отношению к центру базовой системы координат данной эпохи (в которой определяются значения координат центра масс Земли по *DORIS* наблюдениям). Фактически речь идет об изменении высоты станции в указанной системе координат, вызванном деформацией поверхности Земли. Для определения этой вариации высоты нужно к вариации *GPS* высоты станции добавить эффект от дрейфа самого центра масс. Указанные добавки для обширного списка станций приведены в табл. 1. Измерения *GPS* высот являются довольно точными (с погрешностями порядка 0.1 мм/год) и в последние 5–10 лет ведутся на многих станциях мира. Гравиметрические измерения уступают в точности спутниковым измерениям и с помощью абсолютных гравиметров ведутся в последние 10–20 лет довольно эпизодически и на выборочных станциях. Тем

не менее, в данной работе дано объяснение наблюдаемых вариаций высоты и силы тяжести для восьми ведущих гравиметрических станций.

Объяснение наблюдаемых вековых вариаций силы тяжести и высот на гравиметрических станциях

Станция *Нью Алесунд (Норвегия)* имеет географические координаты: $78^{\circ}93'$ с.ш., $11^{\circ}87'$ в.д. Линейный тренд силы тяжести был выявлен по четырем наблюдениям на трех различных абсолютных гравиметрах *FG5* в период 1998–2002 гг. и составил -2.5 ± 0.9 мкГал/год. Вековая вариация *GPS* высот примерно в тот же период составила 6.9 ± 0.9 мм/год [Sato et al., 2006]. По нашей модели медленное приближение ядра к станции Нью Алесунд вызывает положительную вариацию силы тяжести 1.61 ± 0.09 мкГал/год и отрицательную вариацию высоты станции -5.06 ± 0.30 мм/год (табл. 1). Приведенные данные свидетельствуют о деформации поверхности Земли в районе станции с большой скоростью 11.96 ± 1.20 мм/год, вследствие которой сила тяжести испытывает отрицательную вариацию -3.76 ± 0.38 мкГал/год. Складывая эффекты вариации силы тяжести из-за смещения ядра и от деформации поверхности, получаем отрицательное значение -2.15 ± 0.47 мкГал/год, что в пределах погрешностей согласуется с наблюдаемым значением -2.5 ± 0.9 мкГал/год.

Станция *Сева (Антарктида)* имеет географические координаты $69^{\circ}01'$ ю.ш., $39^{\circ}59'$ в.д. Сила тяжести на станции меняется с малой скоростью и ее определение представляет собой сравнительно трудную задачу. По измерениям на абсолютных гравиметрах *FG5* в 1995, 2001 гг. и в период декабрь 2003 – февраль 2004 гг. была получена оценка -0.27 ± 0.42 мкГал/год [Fukuda et al., 2004]. Спутниковые *GPS* определения вековой вариации высоты для периода 1999–2004 гг. дают значение 2.4 ± 0.3 мм/год [Fukuzaki et al., 2005]. Медленное удаление центра масс Земли от станции Сева к северу вызывает отрицательную вариацию силы тяжести -1.67 ± 0.10 мкГал/год и положительную вариацию высоты станции $+5.31 \pm 0.30$ мм/год (табл. 1). Эти данные свидетельствуют о деформации поверхности Земли в районе станции со скоростью -2.75 ± 0.54 мм/год, вследствие которой сила тяжести испытывает положительную вариацию 0.86 ± 0.17 мкГал/год. Складывая эффекты вариации силы тяжести из-за смещения ядра и от деформации поверхности, получаем значение -0.81 ± 0.27 мГал/год, которое с учетом имеющихся значительных погрешностей согласуется с ранее полученной оценкой в -0.27 ± 0.42 (другая оценка составляет -0.56) мкГал/год [Fukuda et al., 2004].

Станция *Черчилл (Канада)* имеет географические координаты $58^{\circ}77'$ с.ш., $-94^{\circ}17'$ з.д. Наблюдаемый на этой станции линейный тренд силы тяжести составляет -2.13 ± 0.23 мГал/год, соответственно, в период 1987–2001 гг. [http://gsc.nrcan.gc.ca/geodyn/midtilt_e.php] или -1.99 ± 0.10 мкГал/год за длинный период времени 1986–2009 гг. [Lee et al., 2008]. Спутниковые наблюдения позволили выявить вековое возрастание коры в районе станции со скоростью 9.0 ± 0.9 мм/год [Lee et al., 2008]. В этом случае медленное приближение ядра к станции Черчилл вызывает положительную вариацию силы тяжести 1.38 ± 0.09 мкГал/год и отрицательную вариацию высоты станции -4.41 ± 0.28 мм/год (табл. 1). Таким образом, оба фактора – деформация поверхности и притяжение смещающегося ядра – приводят к вариации силы тяжести -2.83 ± 0.46 мкГал/год, что в пределах ошибок согласуется с наблюдаемой вариацией силы тяжести в период 1987–2001 гг. 4.21 ± 0.37 мкГал/год.

Станция *Вухан (Китай)* имеет географические координаты $30^{\circ}52'$ с.ш., $114^{\circ}49'$ в.д. Измерения силы тяжести с 1998 г. на сверхпроводящем гравиметре позволили

определить ее положительный линейный тренд 1.85 ± 0.03 мкГал/год. Этому значению можно сопоставить уменьшение высоты станции со скоростью -5.94 ± 0.11 мм/год. Спутниковые *GPS* определения вековой вариации высоты для указанного периода 1998–2004 гг. дают значение -6.43 ± 0.20 мм/год [Zhong, Xu, 2004]. Медленное сближение ядра к станции Вухан вызывает положительную вариацию силы тяжести 1.10 ± 0.07 мкГал/год и отрицательную вариацию высоты станции -3.50 ± 0.22 мм/год (табл. 1). Эти данные свидетельствуют о слабой деформации (опускании) поверхности Земли в районе станции со скоростью -2.93 ± 0.42 мм/год, вследствие которой сила тяжести испытывает положительную вариацию 0.92 ± 0.13 мкГал/год. Складывая эффекты вариации силы тяжести из-за смещения ядра и деформации поверхности, получаем значение 2.02 ± 0.20 мкГал/год довольно близкое к наблюдаемому значению 1.85 ± 0.03 мкГал/год [Xu et al., 2008].

Станция Медицина (Италия). Период наблюдений 1996–2001 гг. Станция имеет географические координаты $44^{\circ}52'$ с.ш., $11^{\circ}65'$ в.д. Измерения силы тяжести в период 1999–2002 гг. на абсолютных гравиметрах позволили определить ее положительный линейный тренд 1.9 ± 0.1 мкГал/год [Zerbini et al., 2001]. Спутниковые определения вековой вариации высоты для указанного периода дают значение -7.0 ± 0.2 мм/год. По нашей модели медленное приближение ядра к станции Медицина вызывает положительную вариацию силы тяжести 0.78 ± 0.09 мкГал/год и отрицательную вариацию высоты станции -2.49 ± 0.27 мм/год (табл. 1). Эти данные свидетельствуют о деформации поверхности Земли в районе станции со скоростью -4.51 ± 0.47 мм/год, вследствие которой сила тяжести испытывает положительную вариацию 1.42 ± 0.15 мкГал/год. Складывая эффекты вариации силы тяжести из-за смещения ядра и деформации поверхности, получаем значение 2.20 ± 0.24 мкГал/год, что хорошо согласуется с наблюдаемым значением вариации силы тяжести 1.9 ± 0.1 мкГал/год.

Станция Болонья (Bologna, Италия) расположена недалеко от станции Медицина. Ее координаты $44^{\circ}48'$ с.ш., $11^{\circ}33'$ в.д. В последние годы на станции Болонья были выполнены обширные исследования возможных вековых изменений силы тяжести и их погрешностей с помощью абсолютных гравиметров *FG5-220* (2003/2004–2008). Была получена приближенная оценка векового нарастания силы тяжести в 4.17 ± 1.75 мкГал/год [Gitlein et al., 2009]. С другой стороны спутниковые наблюдения позволили выявить вековое убывание высоты станции со скоростью -10.56 ± 0.25 мм/год [Gitlein et al., 2009]. Медленное сближение ядра со станцией Болонья вызывает положительную вариацию силы тяжести 0.78 ± 0.08 мкГал/год и отрицательную вариацию высоты станции -2.49 ± 0.25 мм/год (табл. 1). Это значит, что скорость деформации поверхности в районе станции составляет -8.07 ± 0.50 мм/год. Ей соответствует вариация силы тяжести 2.53 ± 0.16 мкГал/год. Таким образом, оба фактора – деформация поверхности и притяжение смещающегося ядра – определяют суммарный эффект вариации силы тяжести 3.31 ± 0.24 мкГал/год. Полученное значение не противоречит имеющимся приближенным оценкам тренда силы тяжести 4.17 ± 1.75 мкГал/год [Gitlein et al., 2009].

Станция Мембах (Бельгия) имеет координаты $50^{\circ}61'$ с.ш., $6^{\circ}01'$ в.д. Измерения силы тяжести на этой станции на абсолютных гравиметрах за период около 7 лет позволили выявить ее малый тренд -0.6 ± 0.1 мкГал/год в период 1996–2002 гг. [Francis et al., 2004]. Спутниковые определения вековой вариации высоты для периода 1996–2004 гг. дают значение 2.5 ± 0.5 мм/год. По нашим формулам приближение ядра, смещающегося к северу, дает вклад в изменение высоты станции со скоростью -2.97 ± 0.27 мм/год и в возрастание силы тяжести со скоростью 0.93 ± 0.08 мкГал/год (табл. 1). По значениям указанных скоростей изменения высот находим скорость деформации поверхности

Земли в районе станции Мембах 5.47 ± 0.77 мм/год и вызванное этой деформацией изменение силы тяжести со скоростью -1.72 ± 0.24 мкГал/год. Складывая теперь эффекты от деформации поверхности и дрейфа ядра, находим значение скорости убывания силы тяжести на станции Мембах со скоростью -0.79 ± 0.32 мкГал/год, которое в пределах погрешностей совпадает с наблюдаемым значением скорости изменения силы тяжести на станции Мембах -0.6 ± 0.1 мкГал/год [Francis et al., 2004].

Станция Метсахови (Финляндия). Исследования векового изменения силы тяжести с помощью абсолютных гравиметров на станции Метсахови выполняются с 1980 г. Одной из наиболее точных оценок скорости убывания силы тяжести в районе этой станции, полученной по измерениям силы тяжести в период с 1980 г. по 2008 г., является значение -1.1 ± 0.1 мкГал/год. Высокоточные *GPS* измерения высоты станции Метсахови в период 1993–2009 гг. позволили установить высотный тренд станции по отношению к подвижному центру масс Земли со скоростью 3.5 ± 0.5 мм/год [Bilker-Koivula et al., 2007]. Медленное сближение ядра к станции Метсахови вызывает положительную вариацию силы тяжести 1.20 ± 0.09 мкГал/год и отрицательную вариацию высоты станции -3.81 ± 0.29 мм/год (см. табл. 1). Это значит, что скорость деформации поверхности в районе станции составляет 7.31 ± 0.79 мм/год. Ей соответствует вариация силы тяжести -2.30 ± 0.25 мкГал/год. Таким образом, оба фактора – деформация поверхности и притяжение смещающегося ядра – определяют суммарный эффект вариации силы тяжести -1.10 ± 0.34 мкГал/год. Полученное значение практически совпадает с указанной выше оценкой скорости тренда силы тяжести при станции Метсахови в -1.10 ± 0.10 мкГал/год.

Заключение

В данной работе изучены вариации силы тяжести и высот для восьми известных гравиметрических станций, для которых имеются необходимые достаточно длинные ряды наблюдений на абсолютных гравиметрах и *GPS* измерения высот. Показано, что наблюдаемые значения вековых вариаций силы тяжести и высот в основном объясняются вековым дрейфом центра масс Земли и деформацией ее поверхности. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Естественно, что при наличии аналогичных данных для других гравиметрических станций наши исследования будут продолжены. Полученные нами результаты будут уточняться в будущем по мере поступления новых и более точных данных по измерениям силы тяжести и *GPS* высот для станций, указанных в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные значения вариаций силы тяжести \dot{g}_r и вариаций высот \dot{h} гравиметрических станций мира, вызванные вековым дрейфом центра масс Земли. Значения указаны с погрешностями

№ п/п	Станция	Страна	Координаты станции		Расчетные значения	
			φ°	λ°	\dot{g}_r , мкГал/год	\dot{h} , мм/год
1	2	3	4	5	6	7
1	Нью Алесунд	Норвегия	78.93	11.87	1.61 ± 0.09	-5.06 ± 0.30
2	Эсаши	Япония	39.15	141.33	1.41 ± 0.08	-4.50 ± 0.25
3	Черчилл	Канада	58.77	-94.17	1.38 ± 0.09	-4.41 ± 0.28
4	Камиока	Япония	36.43	137.31	1.35 ± 0.08	-4.29 ± 0.24
5	Матсухиро	Япония	36.54	138.21	1.35 ± 0.08	-4.31 ± 0.24
6	Келливилл	Гренландия	67.01	-50.71	1.35 ± 0.09	-4.31 ± 0.30
7	Мун Гуанг	Ю. Корея	36.64	128.21	1.31 ± 0.08	-4.16 ± 0.24

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
8	Киото	Япония	35.03	135.79	1.31±0.07	-4.18±0.24
9	Кулусук	Гренландия	65.57	-37.18	1.30±0.04	-4.13±0.30
10	Вааса	Финляндия	63.10	21.60	1.25±0.09	-3.98±0.29
11	Межд. Фолс	Канада	48.59	-93.41	1.20±0.08	-3.82±0.26
12	Метсахови	Финляндия	60.22	24.40	1.20±0.09	-3.81±0.29
13	Мокса	Германия	59.65	11.62	1.16±0.09	-3.68±0.29
14	Вухан	Китай	30.52	114.49	1.10±0.07	-3.50±0.22
15	Кантли	Канада	45.59	284.19	1.02±0.08	-3.26±0.26
16	Синчу	Тайвань	24.79	120.97	1.01±0.06	-3.23±0.20
17	Санспот НМ	США	32.77	-105.82	0.95±0.07	-3.02±0.22
18	Печь	Чехия	49.92	14.78	0.93±0.09	-2.97±0.27
19	Бад-Хомбург	Германия	50.23	8.61	0.93±0.08	-2.95±0.27
20	Мембах	Бельгия	50.61	6.01	0.93±0.08	-2.97±0.27
21	Уолферданж	Люксембург	49.67	6.15	0.91±0.08	-2.89±0.26
22	Ветгцель	Германия	49.14	12.88	0.91±0.08	-2.89±0.27
23	Вена	Австрия	48.25	16.36	0.89±0.08	-2.84±0.27
24	Страстбург	Франция	48.62	7.68	0.88±0.08	-2.81±0.26
25	Баксан	Россия	43.20	42.72	0.87±0.08	-2.79±0.27
26	Зеленчукская	Россия	43.51	41.36	0.87±0.08	-2.79±0.26
27	Остин	США	30.29	-97.74	0.82±0.06	-2.62±0.21
28	Дехрадун	Индия	30.32	78.07	0.80±0.07	-2.56±0.21
29	Медицина	Италия	44.52	11.65	0.78±0.09	-2.49±0.27
30	Болонья	Италия	44.48	11.33	0.78±0.08	-2.49±0.25
31	Бандунг	Индонезия	-6.90	107.63	0.05±0.04	-0.15±0.11
32	Таити	Франция	-17.58	-149.61	-0.09±0.05	0.28±0.17
33	Манаус	Бразилия	-3.01	-60.00	-0.43±0.03	1.38±0.10
34	Тидбинбилла	Австралия	-34.44	148.94	-0.51±0.07	1.61±0.23
35	Канберра	Австралия	-35.32	149.01	-0.53±0.07	1.69±0.24
36	Консепсьон	Чили	-36.84	286.98	-1.18±0.07	3.76±0.23
37	Сазерленд	Ю. Африка	-32.38	20.81	-1.29±0.07	4.11±0.22
38	Сева	Антарктида	-69.01	39.59	-1.67±0.10	5.31±0.30

Таблица 2. Расчетные и наблюдаемые значения вариаций силы тяжести

Станция	Страна	Значения вариаций силы тяжести, мкГал/год	
		расчетные	наблюдаемые
Нью Алесунд	Норвегия	-2.2±0.5	-2.5±0.9
Сева	Антарктида	-0.8±0.3	-0.3±0.4
Черчилл	Канада	-2.8±0.5	-2.1±0.2
Вухан	Китай	+2.0±0.2	+1.9±0.1
Медицина	Италия	+2.2±0.2	+1.9±0.1
Болонья	Италия	+3.3±0.2	+4.2±1.8
Мембах	Бельгия	-0.8±0.3	-0.6±0.1
Метсахови	Финляндия	-1.1±0.3	-1.1±0.1

Литература

- Авсюк Ю.Н., Левин Б.В. К вопросу М.В. Ломоносова о перемещениях центра Земли // Вестн. РФФИ. 1999. Т. 2 (16). С.4–11.
- Баркин Ю.В. О движении центра масс Земли, обусловленном глобальным изменением ее динамического строения и приливными деформациями // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 3. Физика, астрономия. 1995. Т. 36, № 5. С.99–101.
- Баркин Ю.В. Вековой дрейф центра масс Земли, обусловленный движением плит // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 3. Физика, астрономия. 1996а. Т. 37, № 2. С.79–85.

- Баркин Ю.В.* Возможное долгопериодическое движение твердого ядра и вариации вращения Земли и геопотенциала // Тезисы докладов конференции “Современные проблемы и методы астрономии и геодинамики” (23–27 сентября 1996 г.). СПб.: Институт прикладной астрономии РАН, 1996б. С.132–133.
- Баркин Ю.В.* Объяснение эндогенной активности планет и спутников и ее цикличности // Известия секции наук о Земле Российской академии естественных наук. М.: ВИНТИ, 2002. Вып. 9. С.45–97.
- Баркин Ю.В.* Небесная геодинамика и решение фундаментальных проблем геодезии, гравиметрии, астрометрии и геофизики. Метаморфизм, космические, экспериментальные и общие проблемы петрологии: Материалы Международного (X всероссийского) петрографического совещания (г. Апатиты, 20–22 июня 2005 г.) / Ред. Ф.П. Митрофанов, Ж.А. Федотов. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2005. Т. 4. С.48–50.
- Баркин Ю.В., Зотов Л.В., Любушин А.А.* Сагитовские чтения 2007 (31 января – 1 февраля 2007 г.) ГАИШ, МГУ, Москва. 2007 / http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/life/chteniya/sagi2007/SAGITOV_BARKIN_2007.pdf.
- Баркин Ю.В.* Глобальное возрастание среднего уровня океана и ошибочная трактовка роли тепловых факторов // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2007а. Т. IV. С.18–20.
- Баркин Ю.В.* Механизмы возрастания среднего уровня океана и решение “attribution problem” // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС. 2007б. Т. IV. С.21–23.
- Баркин Ю.В.* Вековой полярный дрейф ядра в современную эпоху: геодинимические и геофизические следствия и подтверждения // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы XLI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2008. Т. 1. С.55–59.
- Баркин Ю.В.* Циклические инверсионные изменения климата в северном и южном полушариях Земли // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2009а. Т. III. С.4–8.
- Баркин Ю.В.* Объяснение вековых вариаций силы тяжести на станциях Нью-Йорк-Олесунн, Медисин, Черчилл и Сайова // Материалы Международной конференции: “Пятое научные чтения Ю.П. Булашевича. Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей” (Екатеринбург, 6–10 июля 2009 г.). Екатеринбург, 2009б. С.27–31.
- Баркин Ю.В.* Механизм вынужденной эндогенной активности Земли и объяснение наблюдаемых временных вариаций глобальных природных процессов // Международная конференция, посвященная 250-летию Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН “Геология: история, теория, практика” (14–16 октября 2009 года). М.: ГГМ РАН, 2009в. С.17–20.
- Баркин Ю.В.* Решение проблемы векового возрастания среднего уровня океана и вековых изменений средних уровней океана в северном и южном полушариях Земли // Научная конференция “Ломоносовские чтения-2010”: Сборник тезисов. Секция “Науки о Земле”. М.: МГУ, 2010. С.175–181.
- Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П.* Глобальный вулканизм и сейсмичность: вековые тренды и связь с солнечной и геомагнитной активностью // Международная конференция, посвященная 250-летию Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН “Геология: история, теория, практика” (14-16 октября 2009 года). М.: ГГМ РАН. 2009. С.34–35.
- Гончаров М.А., Разницин Ю.Н., Баркин Ю.В.* Особенности деформации океанской и континентальной литосферы как свидетельство северного дрейфа ядра Земли // Научная конференция “Ломоносовские чтения-2010”. Секция “Геология”: Тезисы. М., 2010. <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1183766&uri=44.html>.
- Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М.* О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли // Докл. РАН. 1994. Т. 338, № 4. С.525.
- Грушинский Н.П.* Основы гравиметрии. М.: Наука, 1983. 194 с.
- Куликовский П.Г.* М.В. Ломоносов – астроном и астрофизик. М.: Наука, 1986. 95 с.

- Разницын Ю.Н., Баркин Ю.В.* Субмеридиональное сжатие океанской литосферы как результат северного дрейфа ядра Земли // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя. Материалы XLIII Тектонического совещания (02-05 февраля 2010, Москва). М.: ГЕОС, 2010. Том II. С.186–190.
- Фридман А.М., Поляченко Е.В., Насырканов Н.Р.* О некоторых корреляциях в сейсμοдинатике и двух компонентах сейсмической активности // Успехи физических наук. 2010. Т. 180, № 3. С.303–312. DOI: 10.3367//UFN.0180.2011003f.0303.
- Barkin Yu.V.* Explanation and prediction of the secular variations of the Earth rotation, geopotential, force of gravity and geocenter drift// Proceedings of International Conference “AstroKazan-2001”/ Astronomy and geodesy in new millennium (24-29 September 2001), Kazan State University: Publisher “DAS”, 2001. P.73–79.
- Barkin Yu.V.* Theoretical study and prediction of secular geocenter and gravity variations // Proceedings of Symposium of IAG Subcommission for Europe “European Reference Frame – EUREF 2003” (4-7 June 2003, Toledo, Spain) / Verlag des Bundesamtes fur Kartographie und Geodasie, Frankfurt and Main, Germany. Band 33/ EUREF Publication, 2005. N 13. P.342–345. <http://www.euref-iag.net/symposia/book2003/P-01-Barkin.pdf>.
- Barkin Yu.V.* Drift of the Earth core to the North and increasing of seismic activity // Proceedings of IUGG XXIV General Assembly, Perugia, Italy 2007: Earth: Our Changing Planet (Perugia, Italy, July 2-13, 2007), (M) – IAMAS, JMS001. 2007a. P. 727. www.iugg2007perugia.it.
- Barkin Yu.V.* Drift of the Earth core to the North and inversion of global volcanic activity // Proceedings of IUGG XXIV General Assembly, Perugia, Italy 2007: Earth: Our Changing Planet (Perugia, Italy, July 2-13, 2007), (S) – IASPEI, JSW001. 2007b. P. 2398. www.iugg2007perugia.it.
- Barkin Yu.V.* About possible polar drifts of centers of mass of the Earth and Mars// Abstract Book (CD) of European Planetary Science Congress (Potsdam, Germany, 13–18 September 2009). 2009a. V. 4. EPSC 2009-118.
- Barkin Yu.V.* Step-by-step synchronous variations of geodynamical and geophysical processes and their uniform mechanism: events of 1997-1998 years// EGU General Assembly (Vienna, Austria, 19-24 April 2009) // Geophys. Res. Abstr. 2009b. V. 11. abstract # EGU2009-3382.
- Barkin Yu.V.* Mechanism of activation of processes at polar regions of the planets and satellites// Abstract Book (CD) of European Planetary Science Congress (Potsdam, Germany, 13–18 September 2009). 2009c. V. 4. EPSC 2009-117.
- Barkin Yu.V.* Prediction of erroneous altimetry velocities and an explanation of observably coastal velocities of increase of a global mean sea level and mean sea levels in northern and southern hemispheres // “Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (школы) по морской геологии”. М.: ГЕОС, 2009d. Т. V. P.183–187.
- Barkin Yu.V.* Secular drift of the center of mass of the Earth and solution of M.V. Lomonosov problem// EGU General Assembly (Vienna, Austria, 2–7 May 2010) // Geophys. Res. Abstr. 2010a. V. 12. abstract # EGU2010-4690.
- Barkin Yu.V.* Explanation of observable secular variations of gravity and alternative methods of determination of drift of the center of mass of the Earth // EGU General Assembly (Vienna, Austria, 2–7 May 2010) // Geophys. Res. Abstr. 2010b. V. 12. abstract # EGU2010-7385.
- Barkin Yu.V.* S-N secular ocean tide: explanation of observably coastal velocities of increase of a global mean sea level and mean sea levels in northern and southern hemispheres and prediction of erroneous altimetry velocities // EGU General Assembly (Vienna, Austria, 2–7 May 2010) // Geophys. Res. Abstr. 2010c. V. 12. abstract # EGU2010-9284.
- Barkin Yu.V., Ferrandiz J.M., Garcia D.* Contrast secular variations of the mean atmospheric pressure and mean sea level in northern and southern hemispheres of the Earth // Proceedings of International Symposium “Topical Problems of Nonlinear Wave Physics-2008” (NWP-2008). Session 3. 2008. P.15–16.
- Bilker M. – Koivula, Makinen J., Timmer L., Gitlein O., Lopping F., Falk R.* Proc. Int. Symp. On Terr. Gravimetry: Statistical Mobile Meas. Electropribor (St. Peterburg, Russia) 20-24 Aug. St. Peterburg, 2007.
- Cheng M.K., Shum C.K., Tapley B.D.* Determination of long-term changes in the Earth’s gravity field from satellite laser ranging observation // J. Geophys. Res. 1997. V. 102, N B10. P.22.377–22.390.

- Francis O., Van Camp M., Tonie van Dam, Warnant R., Hendrickx M.* Indication of the uplift of the Ardenne in long-term gravity variations in Membach (Belgium) // *Geophys. J. Int.* 2004. V. 158. P.346–352.
- Fukuda Y., Higashi T., Takemoto S., Iwano S., Doi K., Shibuya K., Hiraoka Y., Kimura I., McQueen H., Govind R.* Absolute Gravity Measurements in Australia and Syowa Station, Antarctica // *International Association of Geodesy Symposia.* (Porto, Portugal. August 30 – September 3, 2004) 2004. V. 129. Gravity, Geoid and Space Missions. Springer Berlin Heidelberg. 10.1007/b138327. P.280–285.
- Fukuzaki Y., Shibuya K., Doi K., Ozawa T., Nothnagel A., Jike T., Iwano S., Jauncey D. L., Nicolson G.D., McCulloch P.M.* Results of the VLBI experiments conducted with Syowa Station // *Antarctica J. Geodesy.* 2005. V. 79. Issue 6-7. P.379–388.
- Gitlein Olga, Ludger Timmen, Muller Jurgen, Agren Jonas, Lidberg Martin.* Absolute gravimetry results from 5 years measurements with FG5-220 in Fennoscandia // *Geodesy for Planet Earth-IAG* (31.08 – 04.09, Buenos Aires, Argentina). 2009. Ppt.
http://gsc.nrcan.gc.ca/geodyn/midtilt_e.php (Geological Survey of Canada).
- Lee H., Shum C.K., Kuo C.Y., Yi Y., Braun A.* Application of TOPEX altimetry for solid earth deformation studies // *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 2008. V. 19. P.37–46. doi: 10.3319/TAO.2008.19.1-2.37(SA).
- Sato T., Okuno J., Hinderer J., MacMillan D. S., Plag H., Francis Olivier, Falk R., Fukuda Y.* A geophysical interpretation of the secular displacement and gravity rates observed at Ny-Ålesund, Svalbard in the Arctic-effects of post-glacial rebound and present-day ice melting// *Geophysical Journal International.* 2006. V. 165, Issue 11. P.729–743.
- Tateviian S.K., Kuzin S.P., Kaftan V.I.* Comparison of Geocenter Variations, derived from 10 years of GPS, DORIS and SLR Dat // *Proc. of the Conference AOGS, Singapore, 5-9 July 2004.* 2005. P.17–21.
- Xu J.Q., Zhou J.C., Luo S.C., Sun H.P.* Study on characteristics of long-term gravity changes at Wuhan station // *Chinese Science Bulletin Science in China Press, co-published with Springer-Verlag GmbH* ISSN1001-6538 (Print) 1861-9541. 2008. V. 53, N 13 / July 2008 г. Articles-DOI10.1007/s11434-008-0074-2. P.2033–2040.
- Zerbini S., Richter B. et al.* Height and gravity variations by continuous GPS, gravity and environmental parameter observations in the southern Po Plain, near Bologna, Italy // *Earth Planet. Science Let.* 2001. V. 192. P.267–279.
- Zhong M., Xu H.* Trends Of Vertical Crustal Displacement At Wuhan Station // *American Geophysical Union, Fall Meeting, 2004.* abstract #G31A-0789.
- 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. P.98–101.

Сведения об авторе

БАРКИН Юрий Владимирович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга при МГУ им. М.В. Ломоносова. 111899, Москва, Университетский пр-т, 13. Тел.: 939-50-24. E-mail: barkin@inbox.ru.

DRIFT OF THE CENTER OF MASS OF THE EARTH AND SECULAR VARIATIONS OF GRAVITY

Yu. V. Barkin

Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia

Abstract. It is shown that secular displacement of the center of mass of the Earth (drift), observed by the methods of space geodesy, and deformation of the surface of the Earth give the most significant contributions to the secular variations of gravity at Earth's surface, which are determined with the help of absolute and superconducting gravimeters. The simplest estimates of the secular variation of gravity on a given station can be made directly on basic secular variations of the station's altitude determined by satellite data of GPS observations. These data define a trend of the station directly with respect to the drifting center of the Earth's mass. However, they do not allow us to estimate the contributions of the following effects: drift of the center of mass and of the change of the station's altitude due to surface deformation, and actually define the difference between them. Performed analysis allows to evaluate contribution of the drift of the center of the Earth's mass to gravity variations at this station and the gravity contribution of surface deformation of the Earth and the corresponding change in the altitude of the station. These components of gravity variations have been calculated for eight leading gravimetric stations. It was shown that these two factors are crucial and their sum roughly accounts for the currently observed gravity variations at these gravimetric stations: Ny-Alesund (Norway), Syowa (Antarctica), Churchill (Canada), Wuhan (China), the Medicina (Italy), Bologna (Italy), Membach (Belgium) and Metsahovi (Finland).

Keywords: gravity variations, the variations of height, the drift of the center of mass of the Earth.