

© С. П. Кузин, С. К. Татевян

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

## МОНИТОРИНГ ДВИЖЕНИЯ ГЕОЦЕНТРА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СИСТЕМ GPS, DORIS И SLR

Приводятся результаты регрессионного анализа тижневых рядов руху геоцентра, отримані в Інституті астрономії РАН при обробці вимірювань системи DORIS на інтервалі 1999.2—2002.6 гг. Аналізувались також 10-річні ряди коливань геоцентра, отримані центрами GPS-даних (JPL) і DORIS-даних (IGN/JPL), а також 8-річний ряд лазерних даних Центру космічних досліджень CSR (США). Виявлено річні та піврічні коливання геоцентра, амплітуди яких дорівнювали 1.2—18.5 мм. Виявлено також коротші періодичні складові з амплітудами, зівставними з амплітудами піврічних коливань. Віковий тренд руху геоцентра складає одиниці міліметрів за рік.

Физически геоцентр определяется как центр масс (СМ) земной системы, включая твердую Землю, атмосферу, океаны и гидросферу (ледовый покров Земли, реки, озера, почвенную влагу и т. д.) и относительно него обращаются по орбитам искусственные спутники. Точное знание положения геоцентра очень важно, так как он фиксирует начало земной координатной системы (ITRF), относительно которой решаются все геодинамические задачи, включая определение гравитационного поля, параметров вращения Земли и современных движений земной коры. На практике положение геоцентра закрепляется координатами и скоростями (относящимися к определенной эпохе) глобальной сети станций наблюдений ИСЗ, расположенных на поверхности Земли. Любое перемещение масс в системе Земля вызывает смещения центра масс, которые могут определяться современными методами спутниковой геодезии с миллиметровой точностью с разрешением 1 сут и более. В настоящее время для определения положений и скоростей движения станций на поверхности Земли широко используются космические технологии, такие как лазерные дальномерные измерения (SLR), радиотехнические системы GPS и DORIS, а также радиоинтерферометры с длинной базой (VLBI). Однако следует отметить, что спутниковые технологии, определяющие движение геоцентра, являются весьма чувствительными ко всяким изменениям, связанным с сетью станций слежения (количество, расположение станций).

В последние годы все технологии космической геодезии внесли свой вклад в проблему определения и поддержания земной системы координат и предоставили мировой научной общественности

временные ряды движения геоцентра.

Институт астрономии РАН (ИНАСАН), являясь одним из центров анализа данных международной службы системы DORIS (IDS), послал свои недельные решения осцилляций геоцентра ([ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/doris/products/geoc/ina\\_04wd01.geoc.Z](ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/doris/products/geoc/ina_04wd01.geoc.Z)), которые были получены на временном интервале 1999.2—2002.6 с использованием программного пакета GIPSY-OASIS II, разработанного JPL (США). Краткое описание методики определения колебаний геоцентра состоит в следующем.

Ежедневно оценивались координаты всех работоспособных на данный момент станций сети DORIS, полученные с использованием трех спутников, имеющих на борту DORIS приемники (SPOT2, SPOT4, TOPEX). Совместно с координатами станций оценивались орбитальные параметры спутников, параметры вращения Земли, тропосферная рефракция и ряд других величин. Все решения были получены в «слабо определенной сети» (free network approach), для которой характерен априорный разброс координат станций порядка 100 м. Затем суточные решения объединялись в недельные решения, проектировались (уменьшая неопределенность определения системы координат) и трансформировались в «хорошо» определенную (на текущую эпоху) систему координат — ITRF2000. В процессе трансформирования оцениваются семь параметров трансформации, из которых три линейных параметра сдвига начала координат ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ) и масштаб  $s$  являются более значимыми, по сравнению с тремя оставшимися параметрами поворота начала системы координат, так как обеспечивают информацию о нулевой точке координатной

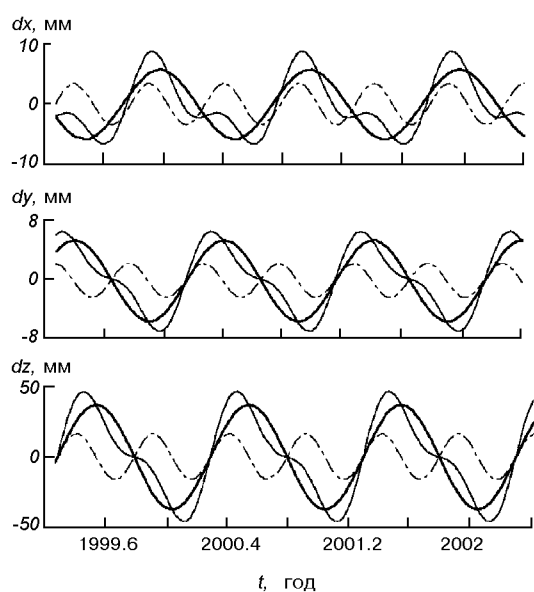


Рис. 1. Вариации геоцентра в системе координат ITRF2000 по данным ИНАСАН DORIS: жирные линии — годовые, штрихпунктирные — полугодовые, тонкие — годовые + полугодовые

системы. Более подробно методика описана в работах [3, 4]. Временные ряды полученного движения геоцентра приведены на рис. 1. Для оценки годовых и полугодовых амплитуд и фаз вариаций геоцентра, которые являются большими по величине по сравнению с другими периодическими составляющими [2], был применен метод регрессионного анализа. Периодические составляющие выделялись из исходного ряда при помощи аппроксимации

$$J(t) = a_0 + b_0 t + A_0 \sin\left(\frac{2\pi}{P}(t - t_0) + \varphi_0\right),$$

где  $A_0$  — амплитуда сигнала,  $P$  — период сигнала,  $\varphi_0$  — начальная фаза,  $a_0$  — постоянная составляющая,  $b_0$  — тренд,  $t$  — текущее время;  $t_0$  — произвольный начальный момент времени отсчета фазы. Постоянная составляющая и тренд оценивались для того, чтобы выразить полученные результаты в общей системе координат. Амплитуды и фазы годовой и полугодовой составляющих приведены в табл. 1 (фазы отсчитываются с начала года).

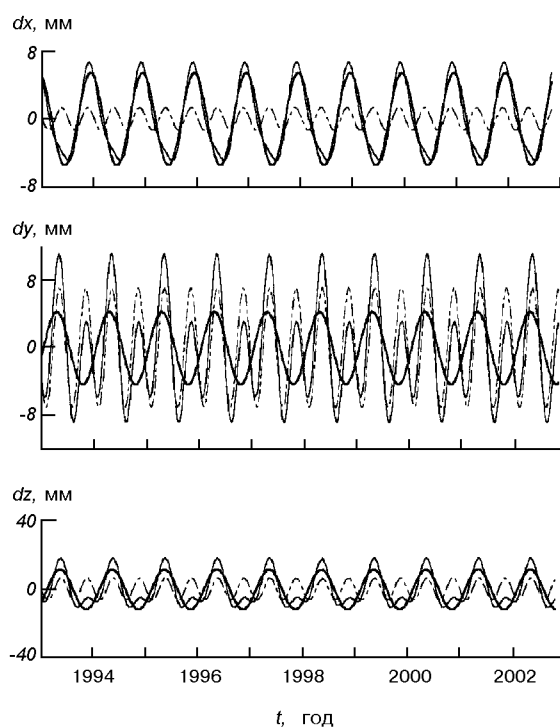


Рис. 2. То же по данным DORIS

Полученные значения амплитуд колебаний сравнимы с результатами предыдущего анализа временных рядов колебаний геоцентра [1], в то время как фазы имеют значительные расхождения. Больше по величине значение амплитуды Z-компонента может быть объяснено преобладающими сезонными перераспределениями земной массы между северным и южным полушариями Земли [5]. Следует отметить, что помимо годовых и полугодовых составляющих колебаний геоцентра, были обнаружены более короткие периодические составляющие (двухнедельные, одно-, двух-, трех-, четырехмесячные) с амплитудами, сравнимыми с полугодовыми сигналами.

Для сопоставления полученных значений движений геоцентра дополнительно с помощью указанной выше методики были проанализированы три временных серии колебаний геоцентра, полученные

Таблица 1. Годовые и полугодовые амплитуды и фазы вариаций геоцентра (система DORIS 1999.2—2002.6)

Компонент	Годовой		Полугодовой		Тренд, мм/год
	А, мм	Фаза, град	А, мм	Фаза, град	
X	5.7±0.8	99.0±11.1	3.4±0.8	157.7±20.9	-3.1±0.9
Y	5.5±0.2	303.9±12.6	2.3±1.1	252.8±14.1	-0.6±0.8
Z	36.4±4.5	254.4±4.0	15.9±1.1	147.9±17.6	6.1±3.4

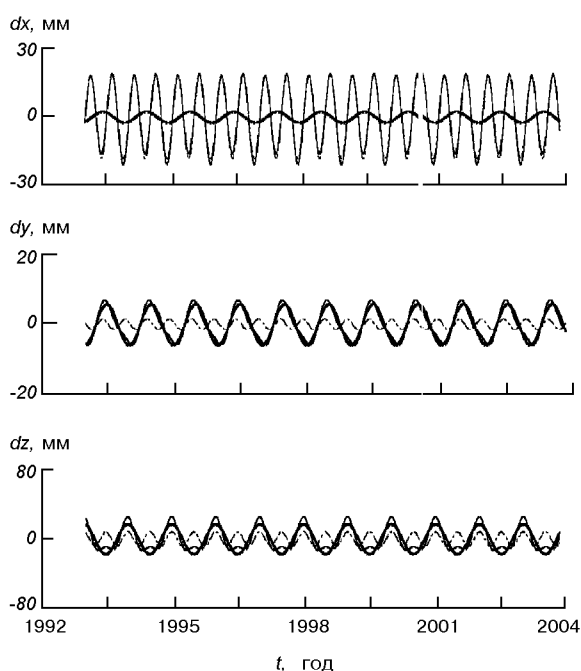


Рис. 3. То же по данным GPS

разными центрами анализа данных и использующие различные спутниковые технологии. Две десятилетних серии суточных GPS (центр анализа JPL) и недельных DORIS (центр анализа IGN/JPL) решений на временном отрезке 1993.0—2003.8 и 8-летняя серия месячных лазерных решений (спутники «Lageos-1» и «Lageos-2») центра космических исследований CSR (США) на интервале 1992.8—2000.2. Данные временные серии доступны для заинтересованных пользователей на сайтах <ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/mbn>, <ftp://ccdisa.gdsc.nasa.gov/pub/doris/products/geoc> и <http://sbgg.jpl.nasa.gov>. Результаты регрессионного анализа приведены в табл. 2 (фазы отсчитываются с начала года), а графики — на рис. 2—4.

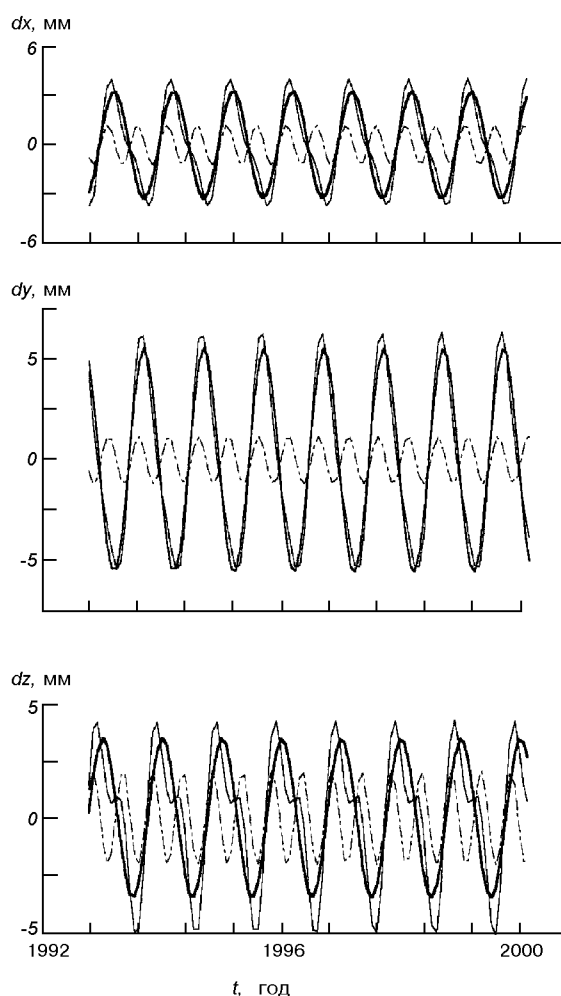


Рис. 3. То же по данным SLR

Из табл. 2 видно, что лазерные данные дают более точные результаты по всем трем компонентам, чем GPS- и DORIS-значения.

Значения амплитуды Z-составляющей для GPS-

Таблица 2. Годовые и полугодовые амплитуды и фазы вариаций геоцентра (системы GPS и DORIS 1993.0—2003.8, SLR 1992.8—2000.2)

Компонент		Годовой		Полугодовой		Тренд
		А, мм	фаза, град	А, мм	фаза, град	
X	DORIS	5.5±0.3	106.6±5.2	1.3±0.2	160.4±22.0	-1.7±0.1
	GPS	2.4±0.1	304.4±11.0	18.5±0.3	356.4±1.1	-0.3±0.1
	SLR	3.3±0.5	16.3±4.9	1.2±0.5	20±11.2	-0.2±0.1
Y	DORIS	4.2±0.3	339.2±8.4	7.0±0.5	187.5±3.4	-0.8±0.1
	GPS	5.9±0.2	279.4±3.0	1.5±0.2	169.5±11.9	-2.2±0.1
	SLR	5.5±0.5	197.4±2.7	1.2±0.4	6.0±16.8	0.6±0.1
Z	DORIS	11.6±0.1	316.6±19.2	6.6±2.7	178.7±24.4	1.7±0.7
	GPS	17.3±0.4	107.6±2.8	8.2±0.2	120.7±6.4	4.8±0.2
	SLR	3.5±0.5	82.9±6.8	2.1±0.6	194.5±9.4	1.2±0.2

и DORIS-технологий в 2-3 раза выше, чем амплитуды  $X$  и  $Y$ -составляющих.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вариации движения центра масс Земли могут быть соответствующим образом учтены при определении положений станций слежения в опорной земной системе координат, что особенно важно для альтиметрических измерениях уровня мирового океана, изучения тектонического движения материковых плит и для усовершенствования геофизических моделей. Колебания геоцентра, определенные с помощью технологий GPS, DORIS и SLR, составляют 1.2—18.5 мм по каждой координате, причем  $Z$ -составляющая для GPS- и DORIS-измерений в 2-3 раза выше, чем  $X$  и  $Y$ . Наши исследования в области мониторинга движения геоцентра будут продолжены как в области анализа временных рядов движения геоцентра большей временной продолжительности, так и в выявлении вклада различных физических явлений, происходящих в различных компонентах земной системы и влияющих на процесс движение геоцентра.

1. Boucher C., Sillard P. Synthesis of submitted geocenter time series // IERS Technical Note 25. IERS Analysis Campaign to Investigate Motions of the Geocenter / Ed. by J. Ray. —

- Observatoire de Paris, April 1999.—P. 15—21,
2. Dong D., Dickey J. O., Chao Y., Chehg M. K. Geocenter variations caused by atmosphere, ocean and surface ground water // Geophys. Res. Lett.—1997.—24.—P. 1867—1870.
3. Kuzin S. P., Tatevian S. K. DORIS data analysis at the Institute of Astronomy // Proc. of DORIS DAYS, 2-3 may, 2000, Toulouse, France. 2000.
4. Kuzin S. P., Tatevian S. K. On Computation of Weekly Doris Solutions for 1999—2001 Time Period // Proc. of the IDS workshop, Biarritz — France, 13-14 June 2002. [http://ids.cls.fr/html/report/ids\\_workshop\\_2002/programme.html](http://ids.cls.fr/html/report/ids_workshop_2002/programme.html)
5. Montag H. Geocenter motions derived by different satellite methods // IERS Technical Note 25. IERS Analysis Campaign to Investigate Motions of the Geocenter / Ed by J. Ray. — Observatoire de Paris, April 1999.—P. 71—74.

#### MONITORING OF THE GEOCENTRE MOTIONS ON THE BASIS OF DORIS, GPS, AND SLR DATA

S. P. Kuzin, S. K. Tatevian

We give the results of regression analysis of geocentre variations time series which are derived at the Institute of Astronomy of RAS on the basis of DORIS data for a time interval of 1999.2 to 2002.6. In addition, we present the results of analysis of geocentre variations on the basis of DORIS (IGN/JPL analysis centre) and GPS (JPL) data for ten-year period of time as well as on the basis of SLR (CSR) data for eight-year period of time. Annual and semiannual signals with amplitudes from 1.2 to 18.5 mm and some shorter periods are found for all time series. The amplitudes of some short-periodic signals are comparable with the amplitudes of semiannual signals. The secular trend of the geocentre motion with a velocity of a few millimetres per year is found.

УДК 521.9 (085)

© В. П. Єпішев, І. І. Мотрунич, В. У. Клімик

Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету, Ужгород

### РИЗИК ЗІТКНЕННЯ ШТУЧНИХ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ СИНХРОННИХ ОРБИТАХ

Наводиться просторовий розподіл некерованих об'єктів в зоні геосинхронних супутників, розподіли елементів орбіт цих об'єктів, параметрів відносного руху при їхньому зближенні з активними геостационарними супутниками. Досліджуються ймовірності зіткнення некерованих об'єктів і ймовірності їхнього зіткнення з активними геостационарними супутниками.

Розподіл некерованих супутників на геосинхронних орбітах. Положення некерованих об'єктів на геосинхронних орбітах визначаємо трьома координатами — географічними довготою  $\lambda$  і широтою  $\varphi$  (або  $\delta$ ) підсупутникової точки та геоцентричною відстанню до супутника  $r$ . Для отримання розподілу каталожних некерованих геосинхронних об'єктів (НГО) прослідковуємо положення всіх НГО протягом певного проміжку часу  $\Delta t$  (з 1990 по

2004 р.) з кроком 0.01 доби. Послідовно знаходимо просторові координати  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $r$  всіх об'єктів на моменти часу  $t$ , які дають миттєві розподіли НГО. Усереднюючи ці положення по всіх  $t$ , одержимо розподіл НГО на проміжку часу  $\Delta t$ . Розрахунки орбіт проводились на основі аналітичної теорії руху ГО, що враховує несферичність Землі, збурення з боку Сонця та Місяця [1]. Точність обчислення положення ГО на часовому проміжку 15 років