

УДК 521.937

## О результатах изучения вращения Земли и динамики системы Земля-Луна

*Г.С. Курбасова<sup>1</sup>, Л.В. Рыклова<sup>2</sup>, А.А. Корсунь<sup>3</sup>, М.Н. Рыбалова<sup>1</sup>, Г.Н. Шликать<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

<sup>2</sup> Институт астрономии РАН, 109017, Россия, Москва, ул. Пятницкая, 48

<sup>3</sup> Главная астрономическая обсерватория НАНУ, Киев, Украина

Поступила в редакцию 20 октября 2008 г.

**Аннотация.** Приведены основные результаты теоретических работ, выполненных авторами по тематике научно-исследовательских проектов и научно-технических договоров с ГАО НАНУ и ИНАСАН РАН.

ABOUT THE RESULTS OF LEARNING OF THE EARTH ROTATION AND DINAMICS OF THE EARTH-MOON SISTEM, *by G.S. Kurbasova, L.V. Rykhlova, A.A. Korsun, M.N. Rybalova, G.N. Shlikar.*

**Ключевые слова:** Земля, Луна, Солнце, вариации, система координат

---

### 1 Введение

Изучение вращения Земли в космосе, включая Всемирное время (UT1), длительность суток, движение полюсов, процессов прецессии и нутации, отражает комплексный характер изменения ориентации Земли, механизмов возбуждения этих изменений и их геофизических проявлений в различных природных процессах.

Нерегулярный характер вращения Земли, проявляющийся в изменениях положения оси и в отклонениях длительности суток от стандартных (LOD), охватывает широкий спектр масштабов времени (в пределах от часов до столетий и более) и отражает тот факт, что эти изменения произведены широким разнообразием геофизических и астрономических процессов.

С другой стороны, эффекты неравномерности вращения Земли обнаруживаются в локальных и глобальных изменениях в атмосфере, океанах и околоземном космическом пространстве.

Математические модели вращения Земли, намеренно оставляя в стороне проблему полного объяснения этого сложного явления, описывают главные черты. Точность этого описания во многом зависит от знаний структуры и законов распределения и взаимодействия отдельных оболочек Земли.

Поэтому основная тенденция в изучении вращения Земли заключается в совершенствовании математических моделей и установлении факторов, вызывающих нерегулярные изменения параметров ее вращения.

Параметры вращения Земли, наряду с общей прецессией и астрономической нутацией, устанавливают связь между инерциальной и земной системами координат, относительно которой определяются вектор положения и вектор скорости небесного тела.

Точность задания вектора положения и вектора скорости определяет степень изучения небесных тел.

Без знаний векторов положения и скорости небесных тел не могут быть решены актуальные в настоящее время вопросы о размерах Вселенной, ее массе и возрасте.

Задачи динамики движения полюсов в системе Земля-Луна, структурные связи в системах планета-спутник, нерегулярные изменения параметров вращения Земли и изучение статистических связей между геодинамическими, геофизическими, атмосферными и гелиофизическими процессами определяли тематику научно-исследовательских проектов и договоров в НИИ "КрАО" с 1994 года по настоящее время. Ниже приведены наиболее значимые результаты.

**1. Динамика движения полюсов Земли в системе Земля-Луна.** Земля и Луна образуют тесную двойную динамическую систему, на параметры движения которой оказывают влияние внешние силы. Наиболее существенное возмущение система испытывает со стороны Солнца. Влияние внешних сил на изменение параметров вращения Земли обычно учитывается в виде суперпозиции парных взаимодействий. Такой подход часто оказывается недостаточным, так как теория парных гравитационных взаимодействий исследует колебания путем линеаризации уравнений движения и, следовательно, принципиально невозможно учесть некоторые эффекты.

В 1995 году нами был предложен оригинальный подход к решению проблемы динамики движения полюсов Земли в системе Земля-Луна (Курбасова и др., 2001). Сущность этого подхода заключается в том, что изменение параметров вращения и обращения Земли и Луны рассматривается как единый нелинейный процесс связанных колебаний. В едином динамическом процессе параметры основных колебаний мгновенного полюса Земли изменяются в соответствии с законами самоорганизации в системе Земля-Луна при внешнем воздействии.

Исходя из этого, были получены конкретные результаты:

- 1) математическое описание параметрического возбуждения собственного колебания Земли и механизма удлинения чандлеровского периода в системе Земля-Луна (Курбасова и др., 2002);
- 2) согласованные параметры астрономических постоянных в системе Земля-Луна (Курбасова и др., 2004);
- 3) на основе тождеств, установленных между физическими и геометрическими параметрами фигур и орбит Земли и Луны, обоснована необходимость определения устойчивой промежуточной системы отсчета (Курбасова и др., 2007).

**2. Структурные связи и определение масс в системах Земля-Луна, Юпитер-галилеевы спутники.** В книге В.Г. Демина "Судьба Солнечной системы" сказано: "В астрономии господствует тенденция объяснить все неясное с позиций новых физических законов и открытий. Но, к сожалению, это делается в условиях, когда развитие систем небесных тел не исследовано сколько-нибудь аккуратно даже в рамках механических систем".

Полученные на основе достижений последних столетий стандартные модели системы Земля-Луна и безразмерные константы в основном связаны с галилеево-ньютонической парадигмой. Наряду с этим в последнее время все чаще обсуждаются абстрактные структуры, естественно возникающие в рамках различных формализмов, которые с неизбежностью имеют отношение к реальности окружающего мира.

К таким абстрактным структурам относятся фракталы, состоящие из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Фрактальная размерность может быть локальной характеристикой множества реальных объектов.

В частности, были вычислены локальные фрактальные размерности в системах Земля-Луна, Юпитер-галилеевы спутники и определены массы спутников, исходя из установленных геометрических и физических пропорций. При этом относительная погрешность определения масс составила менее 0.2 % по сравнению с современными данными, полученными с помощью КА (Курбасова, 2007).

Известно, что наземные измерения масс галилеевых спутников дают значения, формальные ошибки которых составляют около 10 %.

**3. Статистическая взаимосвязь долгопериодических колебаний в экспериментальных данных параметров вращения Земли, геодинамических, геофизических, атмосферных и гелиофизических процессах.** Вариации остатков между вычисленными с помощью наиболее точной теоретической модели и полученными из наблюдений изменениями параметров вращения Земли часто не имеют однозначного объяснения и являются предметом активных обсуждений в настоящее время.

Решение проблемы происхождения и структуры этих колебаний связано с изучением сути явлений, происходящих внутри Земли, механизма передачи энергии внешними полями, Солнцем. Влияние Солнца на вращение Земли включает, помимо прочего, создание общего циклического фона, результатом которого являются согласованные колебания во всех оболочках Земли, ее атмосфере и ядре. Изучение таких колебаний на статистическом уровне требует, помимо подходящей статистической модели, сопоставления обширного класса различных по природе физических процессов.

Исходя из этого, основные результаты статистического анализа и сопоставления временных рядов наблюдений следующие:

- 1) обнаружена статистическая взаимосвязь глобальных колебаний в геодинамических, геофизических, атмосферных и гелиофизических процессах с периодами 10.67 и 22 г. (Курбасова и др., 1997; Курбасова и др., 2008);
- 2) обнаружена статистическая взаимосвязь между вариациями угловой скорости вращения Земли, Сибирского антициклона и изменениями расстояния до Луны (35-летний период) (Курбасова и др., 2005).

**4. Отклонения длительности суток от стандартных (LOD).** Гравитационные силы взаимодействия в системе Земля-Луна, а также в Солнечной системе в целом, физические процессы в ядре, внутренних и внешних оболочках Земли обуславливают неравномерный режим ее вращения и изменяют положение оси в пространстве и в теле Земли.

Повышенный интерес к проблеме вращения Земли объясняется не только теоретической значимостью этого процесса, но и необходимостью решения ряда прикладных задач. Центральное место среди этих задач занимает определение координат точек земной поверхности, определение и хранение времени (период вращения Земли дает естественную единицу времени и естественный стандарт времени).

С введением шкалы атомного времени стало возможным детальное изучение неравномерности вращения Земли и выделение ее основных составляющих, условно подразделяемых на короткопериодические и сезонные колебания, долгопериодические колебания, нерегулярные изменения, включающие скачкообразные изменения скорости вращения, а также вековое замедление скорости вращения. Приливные воздействия на Землю со стороны Луны и Солнца вызывают существенные вариации скорости вращения Земли и имеют достаточно строгое аналитическое описание в рамках гравитационной теории. Происхождение сезонных вариаций однозначно связывают с изменениями зональной циркуляции атмосферы в течение года и отчасти с лунными приливами.

Наряду с этим есть ряд “неправильностей” вращения Земли, которые вызваны процессами во внутренних и внешних ее оболочках, ядре, воздействием внешних сил негравитационного происхождения (неприливные вариации). Решение проблемы происхождения и структуры этих вариаций связано с изучением сути явлений, происходящих внутри Земли, механизмов передачи энергии внешними полями.

Отсутствие развитой теории о природе и механизмах возбуждения неприливных вариаций приводит к необходимости анализа многолетних рядов, полученных из наблюдений.

В этом случае построение на основе наблюдений математической модели, которая наилучшим образом согласуется с реальным физическим процессом, позволяет уточнить, более полно описать заключенные в данных закономерности и определить возможную физическую связь процессов различной природы.

Основные результаты работы:

- 1) построена квазиполиномиальная модель, приближающая среднегодовые данные об отклонении длительности суток от стандартных (86400 сек.) (LOD) за период с 1832 г. по 2000 г. с относительной погрешностью не более 10 % (Курбасова и др., 2007);
- 2) согласно модели, величина векового смещения составляет 1.34 мс, что согласуется с оценкой векового смещения, полученной с помощью других методов;
- 3) математические модели основных колебаний с периодами 64 г., 32 г., 21 г. соответствуют описанию затухающего процесса на интервале 1832–2000 гг.;
- 4) проведен вейвлет-анализ данных LOD, подтверждающий нерегулярный характер основных трех колебаний (Курбасова и др., 2008);
- 5) описанная в составе квазиполиномиальной модели структура основных колебаний в данных LOD и результаты двухканального авторегрессионного анализа допускают возможность существования согласованного механизма возбуждения этих колебаний, в основе которого лежат процессы синхронизации механизма крутильных колебаний в жидком ядре и механизма передачи солнечной энергии через магнитосферу, атмосферу и геофизические оболочки Земли.

## Литература

- Курбасова Г.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. № 4. С. 246.
- Курбасова Г.С., Корсунь А.А., Рыхлова Л.В., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Астрон. журн. 1997. Т. 74. №. 1. С. 139.
- Курбасова Г.С., Корсунь А.А., Рыхлова Л.В., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2005. Т. 101. С. 187.
- Курбасова Г.С., Корсунь А.А., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2007. Т. 23. №. 3. С. 186.
- Курбасова Г.С., Курбасов С.В., Корсунь А.А., Рыбалова М.Н., Шликарь Г.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. №. 1. С. 203.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В. // Астрон. журн. 2001. Т. 78. №. 10. С. 1049.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В. // Журнал фізичних досліджень. 2002. Т. 6. №. 4. С. 408.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В. // Труды Международной астрономической конференции “Основные направления развития астрономии в России”. Казань. 2004. С. 108.
- Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 4. С. 244.
- Курбасова и др. (Kurbasova G.S., Kurbasov S.V., Rybalova M.N., Shlikar G.N.) // Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory. 2008. V. 104. P. 155.