



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Астрометрия, геодинамика
и небесная механика
на пороге XXI века**

**Санкт-Петербург
2000**

Использование наблюдений спутников и космических аппаратов для уточнения эфемерид больших планет

Г. А. Красинский¹, М. В. Васильев¹, М. Л. Свешников¹,
Г. К. Горель², Л. А. Гудкова²

¹Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Николаевская астрономическая обсерватория МПНУ,
Николаев, Украина

Высокоточные радиотехнические измерения дальности до внутренних планет (как наземные, так и траекторные) привели к построению эфемерид, обеспечивающих ошибку вычисленных относительных положений внутренних планет, не превышающую миллисекунды дуги. В определенной степени это справедливо и для эфемериды Юпитера, которая довольно надежно контролируется измерениями дальности, полученными изучением движения космических аппаратов в окрестности Юпитера (программы Pioneer, Ulyssis, Voyager, Galileo) и, косвенно, анализом высокоточных измерений дальности до марсианских спускаемых аппаратов Viking 1-2 и Pathfinder.

Эти данные, однако, не позволяют уточнить ориентацию планетной системы по отношению к инерциальной системе координат, для чего требуется привлечение других измерений. Обычно для этой цели приходится использовать астрометрические наблюдения планет. Принципиально новые возможности привязки планет к инерциальной системе представляют радиоинтерферометрические наблюдения космических аппаратов в окрестности исследуемой планеты (как правило, на спутниковой орбите), из которых можно вывести точные видимые положения данной планеты. Поскольку такие наблюдения отнесены непосредственно к системе координат ICRS, то их использование, как предполагается, привело тому, что стандартная эфемерида DE403, относится не к динамической системе координат, а к ICRS. При этом возникает важная проблема сопоставления планетных эфемерид, ориентация которых определена по оптическим наблюдениям и при построении которых использовались упомянутые высокоточные дальномерные наблюдения, и эфемерид DE403/DE405. Тем самым была бы решена проблема нахождения связи между оптической инерциальной системой и ICRS.

Эти результаты могли бы представлять интерес только в том случае, если привязка планетных эфемерид к фундаментальному астрономическо-

му каталогу выполнена с точностью, сопоставимой с точностью их привязки к ICRS по радиоинтерферометрическим наблюдениям. Можно утверждать, что в настоящее время появились предпосылки решения этой задачи, обусловленные следующими обстоятельствами.

В настоящее время наиболее существенный источник ошибок планетных наблюдений (как радиотехнических, так и оптических) обусловлен неточными размерами этих объектов. В оптике серьезную проблему представляет редукция к видимому центру и затем к центру масс, в радиолокационных измерениях — учет рельефа лоцируемой планеты в подрадарной точке. Наиболее эффективным методом преодоления этих трудностей является использование наблюдений либо посадочных модулей, либо космических аппаратов, вращающихся вокруг планеты. Именно использование таких наблюдений явилось тем фактором, который позволил радикально улучшить точность принятых планетных эфемерид DE403 и DE405. К сожалению, в полной мере преимущества такого подхода могут быть использованы лишь для радиотехнических наблюдений. Целью данного сообщения является демонстрация открывающихся в настоящее время развития этих идей как для радиотехнических, так и оптических наблюдений, причем основное внимание уделяется именно оптическим наблюдениям.

Преимущества использования абсолютных наблюдений галилеевых спутников для уточнения эфемериды Юпитера, связанные с отсутствием значительных фазовых ошибок, были продемонстрированы Моррисоном, который на основе анализа сравнительно немногочисленных меридианных наблюдений наиболее удаленных спутников Юпитера (Ганимед и Каллисто) убедительно выявил наличие заметных ошибок элементов орбиты Юпитера в эфемеридах DE200. Представлялось, что гораздо более продолжительный ряд николаевских наблюдений всех четырех галилеевых спутников окажется не менее информативным для контроля элементов Юпитера в более совершенных эфемеридах DE403 и DE405. Дополнительным, однако весьма важным наблюдательным материалом, позволяющим контролировать орбиту Юпитера являются радиолокационные измерения дальности до Ганимеда и Каллисто, а также несколько синтезированных измерений дальности непосредственно до центра масс Юпитера, выведенные из анализа траекторных измерений. Если при выводе наблюдаемых положений Юпитера из анализа оптических наблюдений его спутников эфемериды этих спутников, вычисляемые по стандартным эфемеридам Лиске, можно считать достаточно точными, то более точные измерения дальности спутников выявляют заметные ошибки этих эфемерид. Для того, чтобы результаты не были отягощены этими ошибками, нами была разработана численная теория движения Галилеевых спутников Юпитера, элементы ко-

торых уточнялись в процессе совместной обработки оптических и радиотехнических измерений. Эта обработка проводилась для трех эфемерид больших планет — DE403, DE405 и численной эфемериды планет и Луны, разрабатываемой в Лаборатории эфемеридной астрономии ИПА РАН. В последнем случае полученные поправки были введены в эти эфемериды, имеющие предварительное обозначение EPM-2000.

Опубликование каталога HIPPARCOS обусловило появление новых возможностей изучения движения тел Солнечной системы классическими методами наземной астрометрии. Для достижения точности планетных наблюдений, сопоставимых с внутренней точностью этого каталога (порядка миллисекунды дуги) наиболее перспективной методикой, как нам представляется, является организация специальной программы наблюдений с использованием в качестве опорных звезд непосредственно звезд из каталога HIPPARCOS. Поскольку количество звезд в этом каталоге относительно невелико, то такие наблюдения могут быть выполнены лишь в эпохи достаточной близости видимых положений звезды и наблюдаемого небесного тела, когда оба объекта в поле ПЗС камеры. Пробные наблюдения, реализующие эту идею на примере галилеевых спутников Юпитера, продемонстрировали возможность получения абсолютных положений этих спутников в системе HIPPARCOS с ошибкой порядка нескольких десятков миллисекунды дуги. По инициативе ИПА в 1997–1999 гг. была осуществлен экспериментальный ряд наблюдений видимого сближения системы спутников Юпитера со звездами каталога HIPPARCOS.

Недостатком этой методики является предположение о том, что относительные эфемеридные положения спутников являются точными. Этот недостаток будет устранен, если одновременно уточнять эфемериды самих спутников, для чего необходим достаточно продолжительный ряд наблюдений.

Именно такой подход был нами использован при обработке весьма продолжительного и однородного ряда фотографических наблюдений, полученного в Николаевской обсерватории в 1963–1997 гг. (1200 наблюденных пар координат). Для таких наблюдений важным ресурсом увеличения точности является их новая редукция с использованием координат звезд из Гиппарха. При сравнении наблюденных положений с эфемеридой отчетливо наблюдается 12-летняя волна, очевидным образом объясняемая ошибками эфемерид DE403/DE405 в системе координат HIPPARCOS. Напомним, что в системе ICRS ошибки эфемериды Юпитера отсутствуют. Улучшение элементов орбиты как спутников, так и Юпитера показало, что эфемериды Юпитера в DE403 и DE405 заметно различаются, причем нельзя утверждать, что DE405 лучше согласуется с наблюдениям, чем DE403.

Расхождения между DE403 и DE405 достигают нескольких сотых угловой секунды и эта величина, по-видимому, характеризует точность их привязки к инерциальной системе координат ICRS, построенной методами длиннобазисной радиоинтерферометрии. Кроме того, есть основания полагать, что параметры ориентации каталогов HIPPARCOS и ICRS могут достигать сотых секунд дуги.

Таким образом, использование каталога HIPPARCOS заметно повышает потенциал астрометрических наблюдений галилеевых спутников и позволяет из обработки таких наблюдений уточнить элементы гелиоцентрической орбиты Юпитера с ошибкой, не превосходящей $0.01''$. Продолжение и интенсификация программы наблюдений галилеевых спутников даст возможность уменьшить эту ошибку в несколько раз.

Литература

- [1] Васильев М. В., Красинский Г. А. Универсальная система программирования для эфемеридной и динамической астрономии. Труды ИПА РАН, 1997, вып. 2, "Астрометрия и геодинамика", 228–248.
- [2] Васильев М. В., Красинский Г. А., Свешников М. Л., Горель Г. К., Гудкова Л. А. Уточнение эфемериды Юпитера по Николаевским наблюдениям галилеевых спутников 1963–1997 гг. (Здесь, в этом сборнике)
- [3] Casas R., Krasinsky G. A., Yagudina E. I. CCD observations of relative positions of Galilean satellites of Jupiter and star 104297 HIPPARCOS (1997 November 12–14). Communications of IAA, 1998, n 117, 1–18.
- [4] Lieske J. H. Theory of motion of Jupiter's Galilean satellites, Astron. Astropys., 1977, **56**, 333–352.
- [5] Morrison L. V., Buentempo M. E. Carlsberg positions of planets compared with LPL DE403. Roy. Greenwich Obs., Madingley Road, Cambridge CB3 0EZ, UK, 1966.