РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НА КАМЕРЕ SBG АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ УРАЛЬСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

Г. Т. Кайзер, Э. Д. Кузнецов, Г. С. Ромашин,
Д. В. Гламазда, Ю. З. Вибе, В. Э. Берланд, Г. П. Хремли

Астрономическая обсерватория Уральского государственного университета
620083 Екатеринбург, Россия
e-mail: galina.kajzer@usu.ru, Eduard.Kuznetsov@usu.ru

В Астрономической обсерватории Уральского госуниверситета проводятся фотографические наблюдения геостационарных спутников (ГСС) на камере SBG ($F = 777$ мм, $d = 420$ мм) фирмы “Карл Цейс”. Получено более 15 000 точных положений и около 1000 орбит ГСС, которые оформлены в виде электронных каталогов. Разработана методика отождествления орбит ГСС на различных интервалах времени и произведено отождествление ряда спутников, зарегистрированных во время обзорных наблюдений 1984–2002 гг. По результатам наблюдений на интервалах времени 7, 11 и 15 лет исследована эволюция орбит геостационарных спутников 85010B, 73013A и 85102A, для пассивных объектов определены либрационные параметры.

RESULTS OF THE OBSERVATIONS OF GEOSYNCHRONOUS SATELLITES WITH THE SBG CAMERA OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE URAL STATE UNIVERSITY, by Kaiser G. T., Kuznetsov E. D., Romashin G. S., Glamazda D. V., Wiebe J. Z., Berland V. E., Khremli G. P. – Photographic observations of geosynchronous satellites (GSS) have been made with the Zeiss SBG Camera ($F = 777$ mm, $d = 420$ mm) at the Kourovka Astronomical Observatory of the Ural State University. We have obtained more than 15000 exact positions and about 1000 orbits of GSS, which are formed as computer catalogues. A special technique for the identification of GSS orbits was developed for various time scales. The identification of various satellites recorded during the sky surveys in 1984–2002 was performed. From the observation data for time intervals of 7, 11 and 15 years the evolution of the orbits of geosynchronous satellites 85010B, 73013A and 85102A was investigated, for passive objects the libration parameters were determined.

ВВЕДЕНИЕ

В Астрономической обсерватории Уральского государственного университета (АО УрГУ) фотографические наблюдения геостационарных спутников (ГСС) проводятся по двум программам: регулярные наблюдения пассивных геосинхронных спутников для фундаментальных исследований и обзорные наблюдения геостационарной области для решения прикладных задач. Создано необходимое методическое и программное обеспечение для получения точных положений и орбит ГСС, разработана методика отождествления наблюдений и орбит ГСС на различных интервалах времени. В результате наблюдений получено более 15 000 точных положений различных ГСС и элементы орбит на 985 эпох, которые оформлены в виде электронных каталогов. Исследована эволюция орбит ГСС на интервалах времени до 12 лет, определены периоды и амплитуды либрационного движения пассивных спутников, уточнена долгота точки либрации.

В настоящей работе приводятся результаты анализа обзорных наблюдений и эволюция элементов орбит отдельных геосинхронных спутников, полученная на основе этого материала.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ГСС

Наблюдения ГСС в АО УрГУ в Коуровке проводятся на камере SBG фирмы “Карл Цейс”, которая была введена в действие в 1974 году. Камера имеет четырехосную монтировку, оптику системы Шмидта с выравненным полем ($F = 777$ мм, $D = 420$ мм), позволяющую на пластинку размером 9×12 см фотографировать область неба $6.3^\circ \times 8.2^\circ$. Первоначально телескоп был предназначен в основном для наблюдений быстродвижущихся ИСЗ. За прошедшее время его инфраструктура претерпела ряд изменений. В частности, в связи с тем, что на камере наблюдаются преимущественно геостационарные спутники, а электронная регулирующая часть привода по 3-й оси устарела, был установлен привод пластиночной каретки на шаговом двигателе. Для регистрации моментов экспозиций звезд и спутников создана новая регистрирующая аппаратура, состоящая из двухканальных часов, программируемого таймера экспозиций и компьютера. Опорные частоты 10 кГц и 1 Гц поступают от стандарта частоты и времени Ч1-69 (рубидиевый атомный стандарт). Это позволило вести наблюдения в процессе диалога с компьютером. Для компенсации температурной расфокусировки оптической системы было создано полуавтоматическое устройство фокусирования с шаговым двигателем в качестве исполнительного механизма. Для управления процессом фотографирования, ведения журнала наблюдений, регистрации и частичной обработки результатов наблюдений создан комплекс программ, написанных на языке Turbo Pascal.

В настоящее время рассматривается вопрос о переводе SBG на новый светоприемник – камеру с ПЗС-матрицей.

АСТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Астрометрическая обработка выполняется с использованием программы обработки снимков СБГ, адаптированной для персонального компьютера. Программа позволяет обрабатывать как снимки с одиночными изображениями звезд, так и спутникограммы, а также выполняет перевод координат из системы B1950.0 в систему J2000.0 и обратно.

Алгоритм программы описан в работе [1] и предусматривает вычисление видимых координат опорных звезд с учетом их собственных движений и дифференциальной рефракции, редукция измеренных и тангенциальных координат осуществляется обобщенным методом Тернера с использованием линейной модели редукции и полного квадратичного полинома. Программа позволяет получать экваториальные топоцентрические координаты спутника в системе опорного каталога PPM. В координаты спутника вводятся поправки за годичную аберрацию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТ И ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ГСС

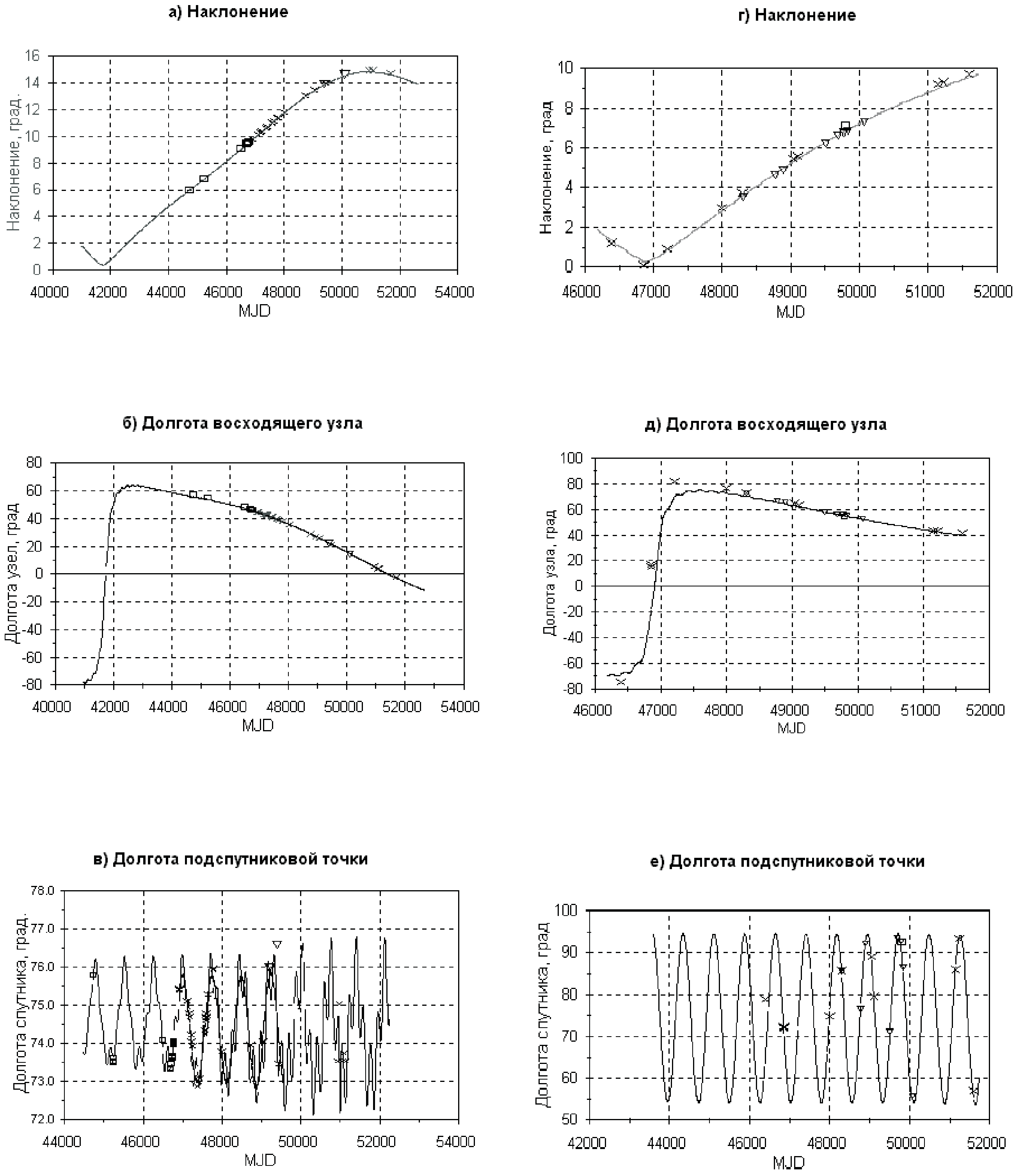
Элементы предварительных орбит ГСС определяются методом Лапласа с дифференциальной коррекцией Лейшнера. Отождествление наблюдений (сортировка по объектам) внутри одного сеанса осуществляется визуально и с помощью компьютерной программы, алгоритм которой предполагает сравнение элементов орбит (наклонения, долготы восходящего узла и долготы подспутниковой точки) [4]. Критерии отождествления выбираются по ошибкам определения элементов предварительных орбит [3] и ориентированы на точность определения положений ГСС, равную $1'' - 2''$.

Для отождествления спутников, зарегистрированных во время различных сеансов наблюдений, и их идентификации с объектами опорного каталога ГСС используется методика, изложенная в нашей работе [5]. Ее идея довольно проста. Считается, что две орбиты G1 и G2 относятся к одному объекту, если для каждого сравниваемого элемента выполняется условие

$$|O - C| \leq 3K,$$

где O – элемент орбиты G1, полученный по наблюдениям на момент T_j, C – элемент орбиты G2, полученный путем прогноза движения спутника от начальной эпохи на эпоху отождествления T_j. Под $3K$ понимается критерий отождествления, составляющими которого являются величины случайных ошибок определения соответствующих элементов орбит обеих групп (σ_O) и (σ_C). При этом сравниваются наклонение и долгота восходящего узла. Прогнозирование движения ГСС на исследуемом интервале осуществляется с помощью программы “Численная модель движения ИСЗ” [2].

По этой методике были частично обработаны обзорные наблюдения, выполненные в АО УрГУ в 1984–2002 гг. В результате получено 510 предварительных орбит и выявлено 4 пассивных ГСС, которые отождествляются в пределах указанного периода. Выделены наблюдения, определены и отождествлены орбиты ГСС 85102A (“Космос-1700”) и наблюдавшихся ранее спутников с условными номерами Sp1 и Sp3. Отождествление этих объектов выполнялось также со спутниками, зарегистрированными во время обзоров в Звенигородской АО [7]. С помощью Зонального каталога ГСС АФИ АН Казахстана [6] определены их международные номера: Sp1 – 85010B, Sp3 – 73013A.



Эволюция элементов ГСС. В первой колонке приведены графики (а, б, в), относящиеся к ГСС 73013A; во второй (г, д, е) – к ГСС 85102A. Наклонным крестом обозначены данные, полученные в АО УрГУ; прямоугольником – в Звенигородской АО; треугольником – в АФИ АН Казахстана; сплошной линией – результаты численного моделирования движения ГСС

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТЫ ГСС

В работе [5] приведены результаты исследования эволюции элементов орбиты ГСС Sp1 (85010B) и Sp3 (73013A) по наблюдениям, выполненным в АО УрГУ в период с 1987 по 1998 гг. Улучшенные элементы орбиты представлены результатами численного моделирования. В результате были определены период и амплитуда либрационного движения Sp3 (754.58 сут и 1.48° соответственно) и установлено также, что орбита Sp1 корректируется.

При выполнении настоящей работы эти результаты были дополнены элементами орбит, вычисленными по обзорным наблюдениям АО УрГУ, Звенигородской АО [7] и АФИ АН Казахстана [6]. Кроме того, по наблюдениям различных станций за период 1985–2002 гг. были получены эволюционные изменения элементов ГСС "Космос-1700" (85102A).

На рисунке приведены графики изменений наклонения, долготы восходящего узла и долготы подспутниковой точки спутников 73013A и 85102A, полученные по наблюдениям и путем численного моделирования движения ГСС. При моделировании за начальные параметры были приняты элементы, вычисленные по наблюдениям в АО УрГУ (ГСС 73013A) и АФИ АН Казахстана (85102A) [6].

По изменению долготы подспутниковой точки определено, что период либрационного движения "Космос-1700" составляет 775 дней, а амплитуда равняется примерно 20°, установлено также, что амплитуда либрации ГСС 73013A со временем увеличивается, ее максимальное значение достигает 2.35°.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализируя полученные результаты, можно заметить, что элементы орбит геосинхронных спутников, полученные по результатам наблюдений и путем моделирования движения ГСС на длительном интервале времени с помощью программы "Численная модель движения ИСЗ" [2], в основном хорошо согласуются между собой. Существенные расхождения в долготе восходящего узла ГСС 85102A вблизи эпохи $\mathrm{MJD} = 4700$ объясняются большими ошибками определения этого элемента при малых углах наклона орбиты спутника к экватору. Для получения более точных результатов в этом случае необходимо использование большого числа позиционных наблюдений.

Проведенное исследование показывает также, что результаты обзорных наблюдений области геостационарных спутников, полученные на различных обсерваториях, могут успешно использоваться для решения научных задач, в частности для исследования орбитального движения ГСС. В дальнейшем в АО УрГУ планируется изучение общих закономерностей эволюции орбит небесных тел на длительных интервалах времени с использованием этого материала и поиск условий перехода регулярного движения ИНТ в стохастическое.

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра по фундаментальному естествознанию Министерства образования РФ (проект E00-11.0-33).

[1] *Василевский А. Е.* Алгоритм и программа астрометрической обработки снимков искусственных спутников Земли // Методы астрономо-геодезических исследований.–Свердловск: УрГУ, 1984.–С. 85–93.

[2] *Бордовицына Т. В., Шарковский Н. А., Яндульский Г. И. и др.* Численная модель движения ИСЗ // Наблюдения ИНТ.–М.: Астросовет АН СССР, 1988.–**84**, ч. 1.–С. 70–74.

[3] *Бордовицына Т. В., Кайзер Г. Т., Тэаро А. Р., Яндульский Г. И.* Численное прогнозирование движения геосинхронного спутника // Астрономия и геодезия.–1989.–Вып. **15.**–С. 105–121.

[4] *Кайзер Г. Т., Кузнецов Э. Д. и др.* Об отождествлении геостационарных спутников // Физика космоса: Тез. докл. и сообщ. студен. научн. конф.–Екатеринбург, 1995.–С. 23.

[5] *Кайзер Г. Т., Кузнецов Э. Д.* Численное моделирование долговременной эволюции орбит геосинхронных спутников по фотографическим наблюдениям // Вестник СПбГУ. Сер. 1.– 2000.–**2**, № 8.–С. 110–121.

[6] *Демченко Б. И., Диденко А. В., Усольцева Л. А. и др.* Зональный каталог геостационарных спутников.–Алматы: Гылым, 1996.–88 с.

[7] *Бахтигараев Н. С.* Фотографические наблюдения искусственных небесных тел и возможности их каталогизации // Проблема загрязнения космоса (Космический мусор).–М.: Космосинформ, 1993.–С. 47–58.