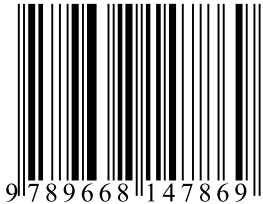




ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ
ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
И МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

ISBN 966-8147-86-3



9 789668 147869

НАО

ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
И МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Министерство образования
и науки Украины
НИИ «Николаевская
астрономическая
обсерватория»



**ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ
ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
И МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

Таким образом, проведя все вышеперечисленные действия, одновременно с обнаружением КО определяются параметры движения КО через картинную плоскость наблюдательного средства — $\{\varphi, \rho(\varphi), i, l_0(\varphi, \rho(\varphi), i)\}$.

Выводы

Авторами адаптирован вычислительный метод обнаружения КО со слабым блеском и определения параметров его движения и создан программно-технический комплекс, его реализующий. Работоспособность данного метода подтверждена экспериментальными данными, полученными на квантово-оптической системе КОС «Сажень-С» (АЗТ-28) при наблюдении КО с блеском от 12,5^m до 14^m.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саваневич В.С., Пугач А.В. 2004, Системи обробки інформації: Зб. наук. пр., Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, вип. 6, с. 170–182.
2. Деденок В.П., Саваневич В.Е. 2005, Системи озброєння та військова техніка, № 1, с. 40–45.
3. Донченко В.С., Кириченко Н.Ф. 2002, Проблемы управления и информатики, № 2, с. 115–125.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕСКОПА САК-300 ДЛЯ ВЕДЕНИЯ КАТАЛОГА ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ В НИИ НАО

А.А. Базей, А.Н. Ковальчук, Е.С. Козырев, Р.В. Лаврухина, Е.С. Сибирякова,
А.В. Шульга
НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория», Украина (shulga@mao.nikolaev.ua)

USE OF FRT TELESCOPE FOR COMPILING OF EARTH SATELLITE CATALOG OF RI NAO. A. Bazey, A. Kovalchuk, E. Kozirev, R. Lavruhina, E. Sybiryakova, A. Shulga — Fast Robotic Telescope (FRT) was made in the RI NAO for observation of the near-Earth objects. Telescope is completely automated and has computer control. The number of observation data of GEO and LEO objects greatly increased after FRT was set in operation in automatic mode. The catalogue of observations of artificial satellites became topical. The equatorial coordinates and orbit elements in TLE format, statistical data about accuracy of satellites and reference stars positions are given in the catalogue. Observations of the first circuits of artificial satellites are represented in the separate part of the catalogue.

1. Введение

Проблема засоренности околоземного пространства в последнее десятилетие стоит очень остро. Космический мусор представляет серьезную

опасность для работающих космических аппаратов. Столкновения и взрывы ведут к разрушению дорогостоящих работающих искусственных спутников Земли (ИСЗ), образованию множества мелких фрагментов. Количество космического мусора в околоземном пространстве растет с огромной скоростью, что впоследствии может привести к невозможности дальнейшего освоения околоземного космического пространства [1]. В связи с вышеперечисленными проблемами необходимы мониторинг и каталогизация объектов на наиболее востребованных геостационарных и низких орбитах. Постоянный мониторинг и каталогизация всего массива ИСЗ производится только в США и России. С 2000 года начаты работы в НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» по наблюдениям объектов на низких и геостационарных орбитах. Для каталогизации накопленных данных и открытия к ним свободного доступа был создан и сопровождается Интернет каталог наблюдений ИСЗ. В открытом доступе в Интернете представлен только один сайт NORAD NASA, который постоянно обновляется и предоставляет доступ к информации об элементах орбит всех видов спутников [2].

2. Аппаратно-программный комплекс для наблюдений объектов околоземного пространства

В 2004 году введен в эксплуатацию разработанный и построенный в НИИ НАО телескоп — скоростной автоматический комплекс САК-300 [3]. Основная задача САК-300 — наблюдения объектов околоземного космического пространства. САК-300 выполнен по схеме мультиканального телескопа. С 2005 года телескоп САК-300 заработал в автоматическом режиме, что привело к значительному росту количества наблюдений и повышению качества наблюдательных данных.

САК-300 имеет два объектива:

- длиннофокусный объектив Максудова (D=300 мм, F=1500 мм) оснащен малокадровой камерой производства НИИ НАО и используется для наблюдения объектов на геостационарных орбитах;
- короткофокусный объектив Уран-9 (D=100 мм, F=250 мм) оснащен высокочувствительной ТВ камерой и используется для наблюдения объектов на низких орбитах.

Характеристики камер представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры ПЗС камер, установленных на телескопе САК-300

ПЗС камера	Характеристика матрицы	Поле зрения	Предельная звездная величина	Время считывания кадра
Малокадровая камера производства НИИ НАО	1160×1094 пиксел 16×16 мкм	40'×38'	14,5 ^m (τ = 5 сек)	25 сек
ТВ камера	768×576 пиксел 8×8 мкм	1,5°×1,1°	8 ^m (τ = 0,02 сек)	0,02 сек

На телескопе установлены приводы на базе двигателей переменного тока, которые обеспечивают движение телескопа со скоростью до $3^\circ/\text{сек}$ по двум координатам. Среднее время точной установки телескопа в точку наблюдения составляет $20 \div 40$ секунд. Для отсчета угла поворота по обоям используются датчики угла M600 (разрядность 12 бит). Аппаратная точность наведения телескопа на объект составляет $0.^\circ 10 \div 0.^\circ 05$.

Управление телескопом осуществляется через распределенный программный комплекс - связанный набор программ, управляющих отдельными узлами телескопа и осуществляющий автоматическое наблюдение различных типов объектов.

Комплекс включает следующие программы:

- CCD — наблюдение на малокадровых ПЗС камерах производства НИИ НАО и S1C производства Электрон-Оptronик (г. Петербург);
- Video — наблюдения на телевизионных камерах с использованием платы видеозахвата;
- Motion — управление ориентацией телескопа (контроль приводов и датчиков поворота);
- Control — осуществление автоматического управления наблюдениями.

ИСЗ наблюдаются комбинированным методом на неподвижном телескопе, при котором телескоп наводится в расчетные координаты встречи. В расчетное время производится запись серии кадров с объектами и один или несколько кадров с опорными звездами.

Для ИСЗ на геостационарной орбите записываются серии по 5–15 кадров с экспозицией 5–20 секунд, до и после серии записываются полосы опорных звезд в режиме синхронного переноса заряда. Для того, чтобы получить большую дугу наблюдений и качественно вычислить элементы орбиты, каждый объект наблюдается 3–4 раза за ночь примерно через 2 часа. Производительность САК-300 при наблюдении объектов на геостационарной орбите составляет 7–10 объектов в час.

Для ИСЗ на низких орбитах производится запись видеоряда в течение ± 10 секунд от расчетного времени встречи с частотой 5 кадров в секунду, это позволяет получить 10–30 кадров с изображением ИСЗ, параллельно производится накопление кадра опорных звезд. Наблюдения проводятся в 1–5 положениях на одном видимом проходе ИСЗ. Производительность САК-300 при наблюдении объектов на низких орбитах составляет 10 объектов в час.

Методика обработки наблюдений объектов на геостационарных и низких орбитах унифицирована и осуществляется специальным программным комплексом, разработанным в НИИ НАО.

Процесс обработки включает следующие этапы:

- последовательное вычисление прямоугольных и экваториальных координат опорных звезд программой Astrometrica [5] в системе каталога USNO-2A. Программа позволяет получить прямоугольные и экваториальные координаты опорных звезд.

- вычислении прямоугольных координат объектов. Программа CCD, разработанная в НИИ НАО, включает различные способы фильтрации, полуавтоматический поиск объекта по двум выбранным оператором положениям, вычисление прямоугольных координат.

- вычисление экваториальных координат объектов по данным первых двух этапов программой GSS, разработанной в НИИ НАО. Программа вычисляет масштабы и нуль-пункты кадров с опорными звездами, интерполирует их на момент наблюдения ИСЗ и вычисляет экваториальные координаты ИСЗ.

- вычисление элементов кеплеровой орбиты программой Keplerorbita [6], разработанной в НИИ НАО. Программа вычисляет шесть элементов орбиты, оценивает качество наблюдательного материала, а также точность вычисления элементов орбит.

В 2006 году в программный комплекс добавлена возможность управления из командной строки, что позволило автоматизировать вычисление элементов орбит; также добавлена возможность обработки наблюдений объектов на геостационарной орбите в течение несколько ночей.

3. Ведение каталога

В каталоге приведены следующие данные:

- элементы орбит ИСЗ в формате TLE;
- экваториальные координаты ИСЗ;
- результаты наблюдений ИСЗ на первых витках после запуска;
- сводные точности вычисления опорных звезд и экваториальных координат ИСЗ.

Элементы орбит и экваториальные координаты ИСЗ представлены на странице в двух вариантах: отсортированные по дате и отсортированные по номеру NORAD

Каталог ИСЗ НИИ НАО формируется автоматически с использованием созданного в институте программного обеспечения на языке Delphi и включает следующие этапы формирования каталога:

- отбор данных (выбираются только те данные, по которым рассчитаны элементы орбиты),
- чтение данных для каталога из рабочей директории, где производится обработка наблюдений (программа считывает все файлы с элементами орбит и экваториальными координатами за все даты наблюдений в массив),

- сортировка данных по номеру спутника и дате наблюдений,
- запись html страниц.

Оценка качества каталога осуществляется по нескольким параметрам, а именно:

- точность единичного наблюдения опорных звезд,
- точность единичного наблюдения ИСЗ,
- систематические разности элементов орбиты относительно каталога NORAD NASA.

Ниже в табл. 2 и 3 для опорных звезд, в табл. 4 для ИСЗ представлены точности единичного наблюдения. Здесь N — процент объектов данной звездной величины из всей выборки.

Таблица 2. Точность единичного наблюдения опорных звезд для объектов на геосинхронной орбите

mag	9 – 10	10 – 11	11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
Ra ["]	±0.63	±0.52	±0.47	±0.50	±0.56	±0.65	±0.75
Dec ["]	±0.61	±0.56	±0.47	±0.49	±0.57	±0.66	±0.80
N(%)	1.2	3.3	8.8	21.0	36.7	23.8	3.7

Таблица 3. Точность единичного наблюдения опорных звезд для низкоорбитальных объектов

mag	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	12 – 13
Ra ["]	±1.80	±1.71	±1.78	±2.15	±2.84
Dec ["]	±1.59	±1.48	±1.60	±2.03	±2.71
N(%)	1.1	12.4	31.2	40.1	9.8

Таблица 4. Точность единичного наблюдения спутников на геосинхронной орбите

mag	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	12 – 13	13 – 14	14 – 15	15 – 16
Ra ["]	±0.48	±0.86	±1.18	±0.98	±0.98	±0.56	±0.94	±0.95
Dec ["]	±0.32	±0.51	±0.42	±0.42	±0.71	±0.72	±0.75	±0.69
N(%)	2	5.5	16.1	22.5	27.4	20.8	2.9	1.5

Проведено сравнение элементов орбиты ИСЗ, рассчитанных в НИИ НАО, с NORAD по наблюдениям одного витка. При вычислении элементов орбит использовались 126 наборов элементов орбит для ИСЗ на геостационарной орбите (рис. 1) и 148 для низкоорбитальных ИСЗ (рис. 2). Приведены систематические разности для наклона, долготы восходящего узла, эксцентриситета и среднего движения. Результаты показывают высокую точность вычислений элементов орбит по данным наблюдений. Для точного вычисления аргумента перигея и истинной аномалии необходимо рассчитывать орбиты по данным нескольких ночей наблюдений или по наблюдениям из нескольких пунктов (обсерваторий).

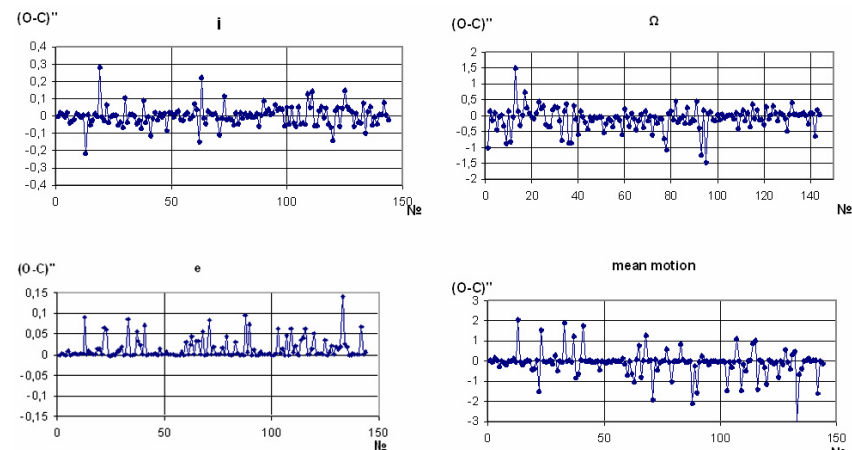


Рис. 1. Сравнение элементов орбит, полученных в НИИ НАО, с NORAD по данным наблюдений низкоорбитальных ИСЗ

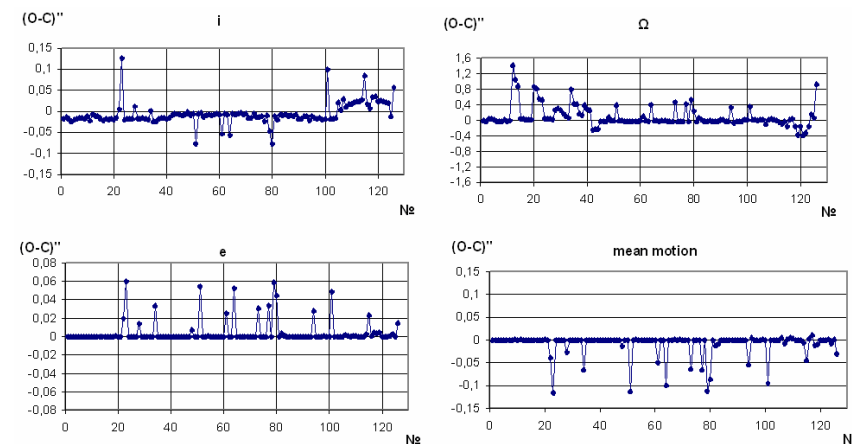


Рис. 2. Сравнение элементов орбит, полученных в НИИ НАО, с NORAD по данным наблюдений ИСЗ на геостационарной орбите

Не все результаты наблюдений входят в каталог. На этапе вычисления экваториальных координат в расчет не вошли 3,2% точек от общего количества наблюдений низкоорбитальных аппаратов и 0,9% — геосинхронных аппаратов. Это в основном связано с низким качеством кадров с опорными звездами вследствие погодных условий.

Всего в каталоге представлены данные 99-ти геосинхронных ИСЗ и — 102-х низкоорбитальных ИСЗ в виде 404 наборов элементов орбит в формате TLE. Исходные данные получены на протяжении 56 ночей наблюдений, в течение которых получено 21298 положений ИСЗ.

Новый раздел каталога, вынесенный на отдельную страницу, содержит данные наблюдений ИСЗ на первых витках после запуска. В 2005—2006 г. было проведено 3 таких наблюдения ИСЗ: 23.08.2005 — OICETS, 18.06.2006 — KAZSAT 1, 12.07.2006 — GENESIS 1.

4. Выводы

1. Ведение каталога обеспечивает выполнение задачи контроля космического пространства, исследования фрагментации космического мусора и контроль запусков ИСЗ.

2. Разработанные методики ПЗС наблюдений и реализованный на их основе в НИИ НАО аппаратно-программный комплекс позволяют эффективно решать самые актуальные задачи по наблюдениям объектов околоземного космического пространства.

3. Для повышения точности вычисления элементов орбит ИСЗ, а также для большей наполняемости каталога необходимо использование других телескопов НИИ НАО и телескопов астрономических обсерваторий Министерства образования и науки Украины, функционирующих в составе наземной сети [7].

4. Существенной задачей улучшения качества каталога является развитие методик и программного комплекса для расчета элементов возмущенной орбиты ИСЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хуторовский З.Н. 1995, Столкновения в околоземном пространстве (космический мусор), Сб. науч. тр. (ред. А.Г. Масевич), М., с. 19–91.
2. <http://www.space-track.org/perl/login.pl>
3. Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Шульга А.В. 2000, Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы, М., ИНАСАН, с. 361–371.
4. Kovalchuk A., Shulga A., Martynov M. 2001, Extension and connection of reference frames using ground based technique, G.Pinigin (ed.), ATOL, Nikolaev, p. 199–205.
5. <http://www.astrometrica.at/>
6. O.A. Bazyey, E.S. Sibiryakova, A.V. Shulga. 2005, Odessa Astronomical Publications, vol. 18, p. 8–14.
7. D. Dedenok, V. Zubin, A. Reznichenko, V. Yamnitsky, V. Abrosimov, S. Malevinsky, V. Savchenko, A. Kovalchuk, G. Pinigin, A. Shulga. 2001, Extension and connection of reference frames using ground based technique, G.Pinigin (ed.), ATOL, Nikolaev, p. 170–178.

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ЛАЗЕРНОМУ ВІДДАЛЕМІРІ «ЛЬВІВ-1831» ЗА 2005 РІК

Я.Т. Благодир, А.І. Білінський, К.П. Мартинюк-Лотоцький, О.О. Логвиненко
Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка, Україна (blagod@astro.franko.lviv.ua)

LASER RANGING RESULTS ON THE SLR STATION “LVIV-1831” DURING 2005. Ya. Blagodyr, A. Bilinsky, K. Martynjuk-Lototsky, O. Logvynenko — “Lviv-1831” is the station of Ukrainian Space Geodesy and Geodynamics Network and International Laser Ranging Service (ILRS) network. During 2005 we carried out 366 observations of low Earth orbit (LEO) satellites and 138 observations of LAGEOS, we received 6302 normal points of LEO satellites and 1165 normal points of LAGEOS. The mean accuracy satisfied the world network requirements in 50 mm. We made three times more observations of LAGEOS than in 2004 [1] due to improvement of transmit-receive channel of telescope TPL-1M. It allowed for the first time to make statistical analysis of the ranging results stability. Analysis shows, that current results in LRS “Lviv-1831” are stable at level of 40 mm (for short-term stability) and 20 mm (for long-term stability).

1. Аналіз результатів локації ІСЗ

Протягом 2005 року було проведено 366 спостережень низькоорбітальних супутників Землі і 138 супутників ЛАГЕОС. При цьому отримано 6302 нормальні точки від низькоорбітальних і 1165 точок від супутників ЛАГЕОС-1 та ЛАГЕОС-2. Усі якісні спостереження були оперативно надіслані у Європейський банк даних мережі ILRS [1] та в Український банк даних ГАО НАНУ [2].

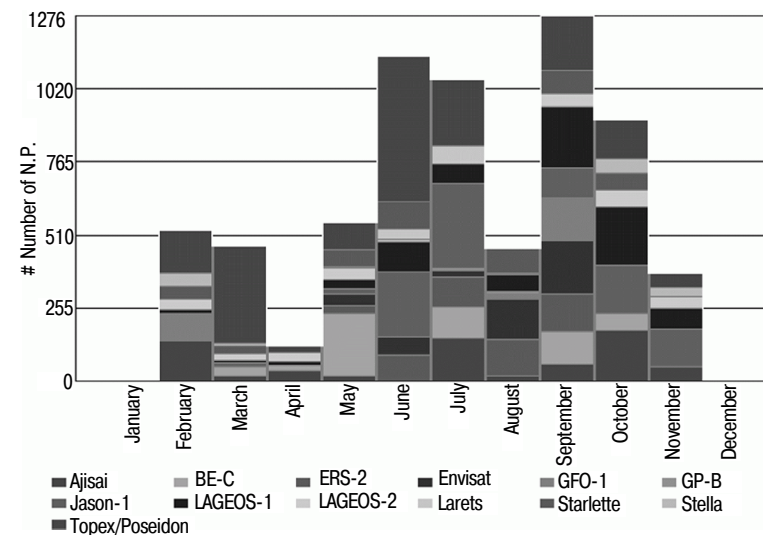


Рис.1. Розподіл спостережень у 2005 році [2].