

УДК 528.021.7

## Об изменении местоположения станции лазерной локации Simeiz-1873 по наблюдениям станции GPS-CrAO за 2002 и 2003 годы

*А.И. Дмитроца, Г.С. Курбасова, Г.Н. Шликаръ*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 12 декабря 2005 г.

**Аннотация.** В данной работе показаны результаты самостоятельной обработки данных GPS-наблюдений, полученных на станции GPS-CrAO за 2002 и 2003 годы. Приведен анализ полученных результатов, и достоверно выделен период 13.65 дней в наблюдениях.

ABOUT CHANGING OF POSITION OF SATELLITE RANGING STATION SIMEIZ-1873 BY GPS MEASUREMENTS OF GPS-CRAO STATION, *by Dmytrotsa A.I., Kurbasova G.S., Shlikar G.N.* In this work we present results of our proceeding of GPS data obtained GPS-CrAO station during 2002–2003. Also results of analysis of these data and real period of 13.65 days were found.

**Ключевые слова:** GPS-наблюдения, период, местоположение, Симеиз

---

## 1 Введение

Успехи в познании строения верхних оболочек Земли и ее глубинных недр стали возможными благодаря применению новых технических средств с высокой разрешающей способностью. Несмотря на быстрый прогресс, достигнутый за последние десятилетия, в геодинاميке остается много нерешенных задач. К их числу относится определение характера движения тектонических плит (плавный или скачкообразный), вклада локальных перемещений в общее движение плит и их изменения со временем, наличия связей между вариациями в движении полюса и изменениями длительности суток.

Возможность решения этих проблем во многом зависит от измерения относительного положения и перемещения точек на земной поверхности с точностью не хуже 2–3 см. Классические геодезические и астрономические методы не обеспечивают необходимой точности: ошибка самого точного нивелирования составляет 3 см на 100 км (систематическая ошибка может быть и больше). В последнее время появилась возможность применения методов классической геодезии, удовлетворяющих приведенным выше геодинамическим требованиям. Локальные исследования проводятся с помощью Глобальной спутниковой системы определения координат, одной из которых является система GPS. Эти системы позволяют многократно измерять деформацию коры и изменения деформации на весьма больших площадях.

Результаты глобальной обработки измерений с помощью GPS-приемника содержат, помимо сведений о линейном тренде, координатах точки на земной поверхности, информацию о долгопериодических, короткопериодических и нерегулярных колебаниях.

Цель настоящей работы – установить возможности более полного использования данных GPS-наблюдений для изучения и регистрации движений и деформаций земной поверхности.

На первом этапе анализа необходимо провести разграничение измерений локального и глобального происхождения. Смещения глобального происхождения связаны с изменениями мгновенного полюса и скорости вращения Земли (длительности суток). Эти факторы должны учитываться при глобальной обработке. Обнаруженные вариации в данных GPS-наблюдений после исключения тренда, их корреляция с аналогичными вариациями в изменении длительности суток служат предметом самостоятельного анализа эффектов вращения Земли. Исключение известных вариаций, выявление аномальных локальных смещений позволяет контролировать состояние земной поверхности, что очень важно для предсказания землетрясений, оползней и пр.

## 2 Обработка GPS-данных

После запуска станции GPS-CrAO на станции лазерной локации Simeiz-1873 в 2000 году накопился большой объем наблюдений, и возник вопрос об их обработке. Для решения этих задач консорциумом UNAVCO нам были любезно предоставлены два пакета программ GAMIT/GLOBK.

GAMIT – это всеобъемлющий пакет, разработанный в MIT (Massachusetts Institute of Technology) и Scripps (Scripps Institution of Oceanography University of California at San Diego) для вычисления трехмерных относительных позиций наземных станций и спутниковых орбит. Программное обеспечение разработано для работы под любой UNIX-подобной операционной системой с поддержкой X-Windows. Результатом работы этого пакета является файл параметров оценок и ковариаций, которые могут быть направлены в GLOBK для комбинирования данных, что позволяет уточнить координаты станций, их скорости, а также параметры орбиты и вращения Земли.

Программа состоит из отдельных модулей, которые выполняют функции подготовки данных, генерирования референсной орбиты спутников, вычисления остаточных неувязок наблюдения (O-C) и частных производных из геометрической модели, определения ложных наблюдений и сбоев в данных и выполняют анализ по методу наименьших квадратов.

GLOBK – это реализация фильтра Кальмана, и его главное назначение – комбинировать решения, полученные после обработки первичных данных космогеодезических или наземных наблюдений. В качестве данных или “квази-наблюдений” он принимает расчетные или объединенные ковариационные матрицы для координат станций, параметров вращения Земли, орбитальных параметров и исходных местоположений, сгенерированных после анализа первичных данных. Эти предварительные решения должны быть выполнены с априори свободными неопределенностями, связанными с глобальными параметрами так, чтобы уточнения могли быть применены одинаково в комбинированном решении.

После того, как было освоено это программное обеспечение, мы столкнулись со следующей проблемой. Для получения приемлемых по точности результатов обработки необходимо иметь полные данные наблюдений не менее, чем для еще четырех станций. Данных по всем украинским станциям, которые нам любезно предоставили из Главной астрономической обсерватории в Киеве, оказалось недостаточно, так как они (как и наши) имеют продолжительные разрывы в наблюдениях (в разное время).

Для преодоления влияния этих разрывов были взяты данные наблюдений еще дополнительно нескольких зарубежных станций. Таким образом, мы получили стабильное решение для локальной украинской сети GPS-станций с помощью пакета GAMIT. Но из-за небольшого числа станций не все эффекты могут быть учтены. Точность решения на этом этапе достигает нескольких сантиметров. Чтобы повысить точность и учесть неучтенные эффекты, с помощью пакета GLOBK, мы провели комбинацию нашего решения и решения для европейской референсной сети, в которую входят только наилучшие станции, список которых меняется ежедневно (в зависимости от качества их измерений). Таким образом, мы получили решение, точность которого уже менее сантиметра.

Обратной стороной явилось то, что для обработки данных за один год требуется скачать более одного гигабайта информации. На нашем медленном интернет-канале эти объемы оказались

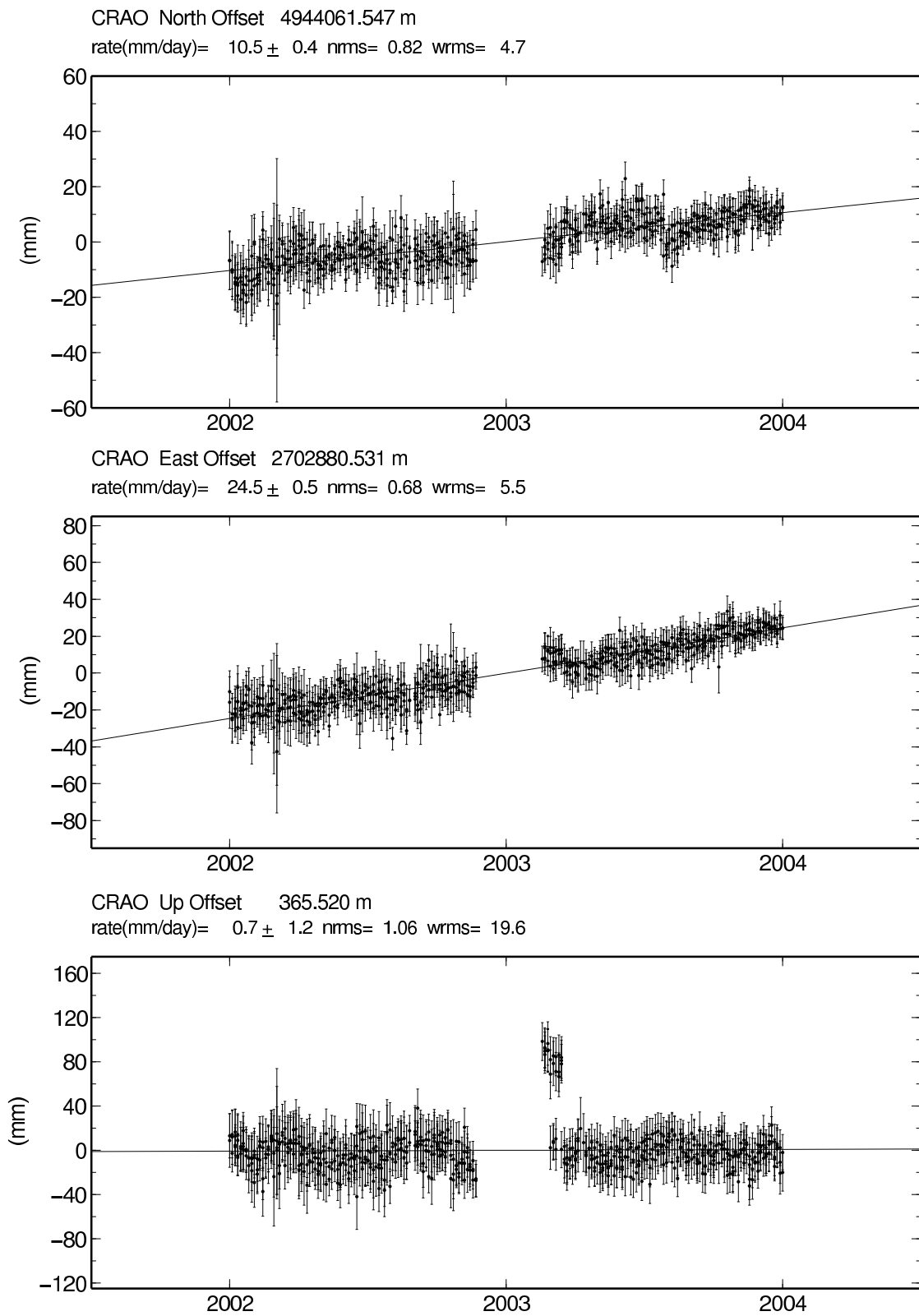
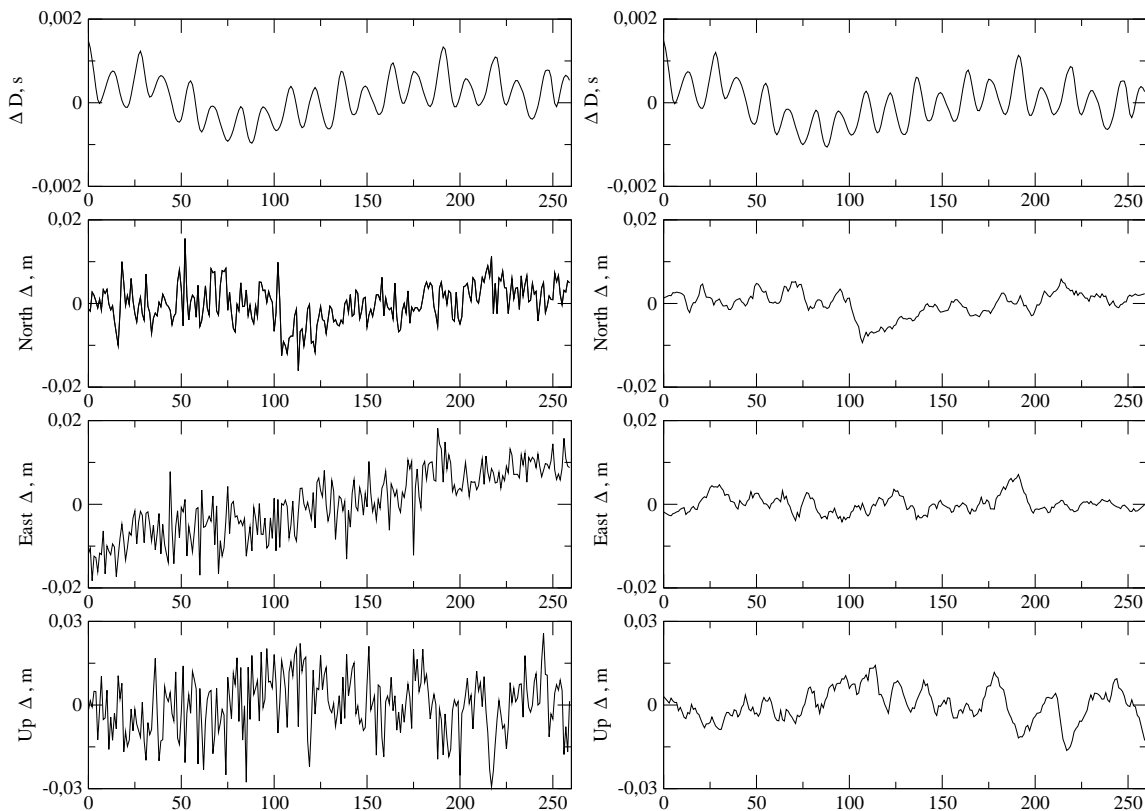


Рис. 1. Графики GPS-измерений смещения GPS-CrAO за 2002 и 2003 годы



**Рис. 2.** Графики GPS-измерений смещения пункта Симеиз и длительности суток  $D$ . На левой половине первичные данные, на правой – они же усредненные по 7 дней без линейных трендов.  $\Delta D$  – изменение длительности суток от стандартной,  $\Delta N$  – смещение в северном направлении (North),  $\Delta E$  – смещение в восточном направлении (East),  $\Delta H$  – смещение в вертикальном направлении (Up)

недоступными и только благодаря гранту (INTAS Infrastructure grant “INTAS IA 03-59-11”) в конце 2005 начале 2006 года нам удалось установить односторонний спутниковый канал и обработать данные за 2002 и 2003 годы.

### 3 Анализ полученных данных

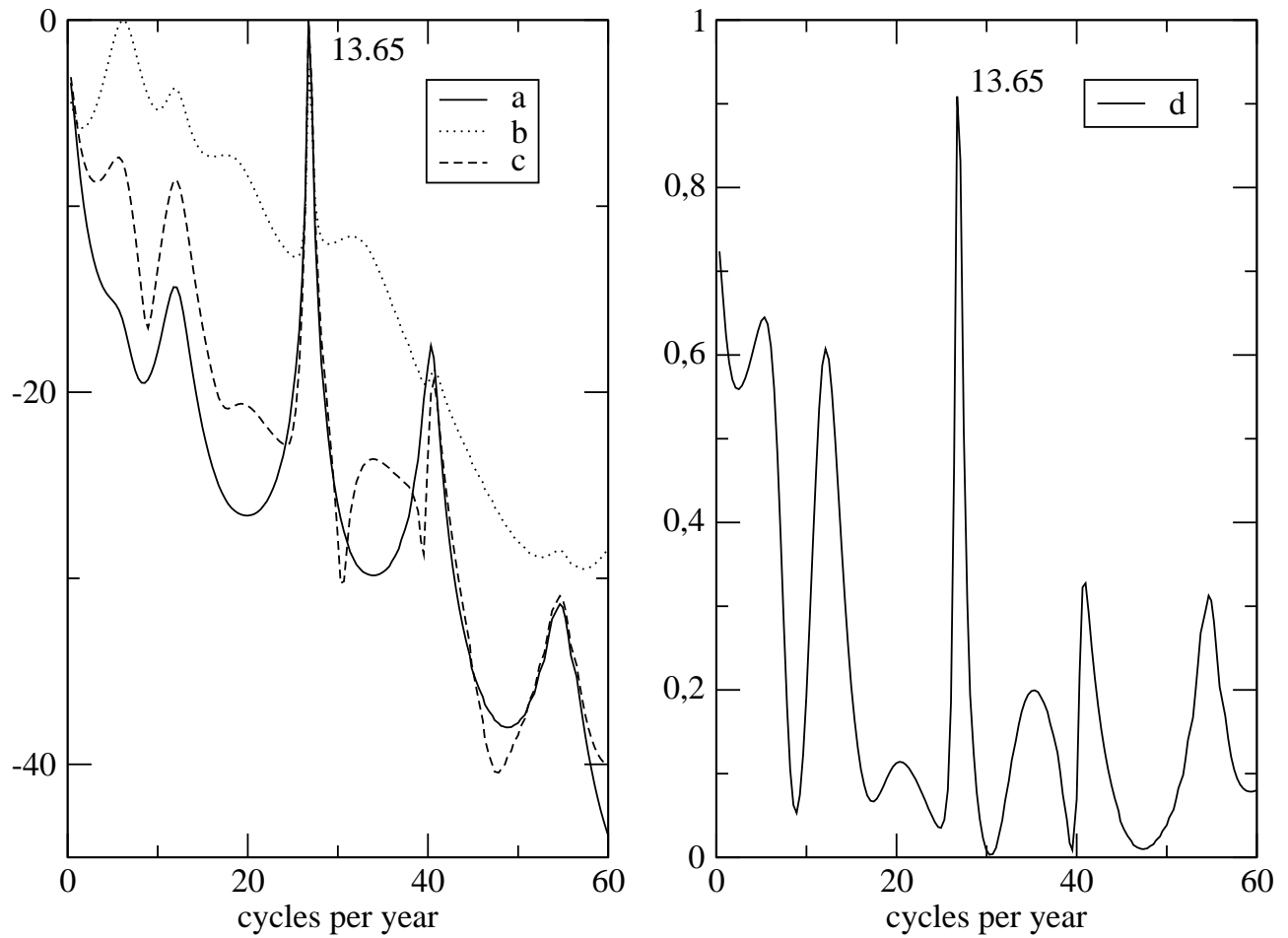
С целью более полного извлечения информации из GPS-наблюдений был проведен сравнительный анализ суточных данных об изменении длительности суток  $D$  от стандартных (86 400 сек) (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>) и GPS-наблюдений на интервале с 16.04.2003 по 31.12.2003 (интервал 260 суток).

Для сравнения использовался метод двухканального спектрального авторегрессионного (АР) оценивания относительной спектральной плотности мощности (шкала логарифмическая) (Марпл, 1990). Степень сходства колебаний определяется величиной квадрата модуля когерентности (КМК).

На рис. 2 (слева) приведены графики исходных суточных GPS-наблюдений смещений ( $E, N, H$ ) пункта Симеиз и изменений длительности суток  $D$ .

Из исходных данных были удалены линейные тренды и произведено сглаживание GPS-наблюдений методом осреднения по 7 точкам. На рис. 2 (правая часть) приведены сглаженные GPS-наблюдения и изменение длительности суток  $D$ .

На рис. 3 приведен результат двухканального АР-анализа данных об отклонении длительности суток  $D$  и смещение в направлении  $E$ . Левый рисунок показывает относительную СПМ, а правый



**Рис. 3.** Результаты двухканального АР-анализа данных об отклонениях длительности суток от стандартных  $D$  и смещения в направлении  $E$ . а) автоспектр данных  $D$ ; б) автоспектр данных  $E$ ; в) совместная корреляция  $D$  и  $E$ ; д) квадрат модуля когерентности

– КМК. Обнаруживается большая степень когерентности (КМК = 90 %) сравниваемых данных на частоте колебаний с периодом 13.65 сут.

Результат двухканального АР-анализа изменения длительности суток  $D$  и смещения в направлении  $N$  и  $H$  обнаруживает также большую степень когерентности (КМК = 65 % и КМК = 88 % соответственно) сравниваемых данных на частоте с периодом 13.65 сут.

Обнаруженная вариация вызвана лунно-солнечными приливами, т. е. имеет глобальное происхождение.

#### 4 Выводы

Как видно из результатов, точность самостоятельной обработки сырых GPS-данных достаточна для того, чтобы выделить приливные (глобальные) периоды даже на коротком интервале времени. Надеемся, что после обработки более длинного ряда можно будет достоверно обнаружить и другие важные периоды.

Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможности применения

изложенного в статье метода для разделения глобальных и локальных эффектов в движении пункта Симеиз, накопления информации о нерегулярных смещениях и ее интерпретации с целью прогноза.

**Благодарности.** Работа выполнена благодаря гранту INTAS Infrastructure grant “INTAS IA 03-59-11”.

## **Литература**

Марпл С.Л. // Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир. 1990. 584 с.