

**«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ХУТОРОВА О.Г.**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**КАЗАНЬ – 2011**

Хуторова О.Г.

Радиофизические методы исследования атмосферы и ионосферы.  
[Электронный ресурс] - Казань:2011.- 48 с.

#### Аннотация

Учебное пособие используется в курсе «Радиофизические методы исследования атмосферы, ионосферы и космоса», «Спутниковый мониторинг Земли», «Физика атмосферы». Курс ориентирован на подготовку специалистов в области радиофизики и распространения радиоволн, специальных радиотехнических систем, космической геодезии. Цели освоения дисциплины: сформировать современные представления об атмосфере, как среде распространения радиоволн с учетом физики протекающих процессов. Рассматривается метод просвечивания атмосферы Земли излучением спутников навигационных систем, целью которого является дистанционное определение параметров состояния атмосферы и ионосферы.

Для формирования практических навыков радиофизического исследования атмосферы и ионосферы предусмотрены лабораторные задания.

Принято на заседании кафедры радио-  
астрономии 30.03.2011

Рецензент: проф. КНИИТУ-КАИ

им. А.Н. Туполева д.т.н. О.Ш. Даутов

© Казанский федеральный университет

© Хуторова О.Г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время в геофизике вообще и в физике атмосферы в частности пристальное внимание уделяется комплексным проблемам, лежащим на стыках различных областей знаний. В связи с этим, физика атмосферы является уникальным объектом обучения различным подходам и методам исследования сложных информационных систем.

В области физики атмосферы и околоземного космического пространства одним из самых современных, высокоэффективных и перспективных методов исследований является прием радиосигналов со спутниковых аппаратов высокоорбитальных навигационных спутников на сети приемных пунктов. Этот метод позволяет получать информацию о структуре и динамике атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли.

Разработан лабораторный практикум для формирования практических навыков по зондированию атмосферы и ионосферы радиосигналами ГНСС. В лабораторных работах исследуются распространения радиоволн в нейтральной и ионизированной атмосфере, принципы радиозондирования атмосферы Земли сигналами глобальных навигационных спутниковых систем.

**!!!** Прежде чем приступать к выполнению практикума, изучите теоретический материал (учебное пособие «ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ РАДИОСИГНАЛАМИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ»), техническую документацию к лабораторному оборудованию и используемому ПО, изучить краткую инструкцию работы с программно-аппаратным комплексом мониторинга атмосферы, приведенную в приложениях.

Задачи лабораторного практикума:

- Изучить принципы работы спутниковых навигационных систем.
- Изучить закономерности распространения радиосигналов в атмосфере Земли.
- Произвести радиоизмерения двухчастотным приемником GPS – ГЛОНАСС.
- Выполнить задания лабораторной работы на основе записанных в файл измерений.
- Написать отчет по применению глобальных систем радионавигации в атмосферных исследованиях. Отчет должен содержать цель работы, задачу работы, решение этой задачи и выводы.

## ЗАДАНИЯ ПРАКТИКУМА

### Задание № 1

1. Объяснить принцип работы спутниковых навигационных систем.
2. Практическое задание:
  - Включить приемник.
  - Запустить ПО Novatel CDU.
  - Инициировать ввод данных с последовательного порта.
  - Включить окно вывода полученных координат, подождать несколько минут, очистить данные. Оценить разброс координат, объяснить результаты.
  - Вывести измерения координат антенны в файл, получить координаты пункта измерения, усредненные за 30 мин.

### Задание № 2

1. Объяснить физический смысл радиоизмерений приемника ГЛОНАСС – GPS: псевдодальностей по кодовому измерению на частотах  $f_1$  и  $f_2$  ( $P_1$ ,  $P_2$ ), фазовых измерений на частотах  $f_1$  и  $f_2$  ( $L_1$ ,  $L_2$ ) и доплеровских измерений на частотах  $f_1$  и  $f_2$  ( $D_1$ ,  $D_2$ ).
2. Практическое задание:
  - Вывести сырые данные дальностей и фаз принятых сигналов в файл. Сделать запись в течение 60 мин.
  - Преобразовать файл в текстовый формат (программой Novatel Convert4 - gps – файлы), структура файла описана в пункте 1.8.
  - Можно воспользоваться программой Lab\_asc.xmcd для обработки данных.
  - Вывести:

- I Вывести псевдодалность по кодовому измерению на частоте  $f1$  ( $P1$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость. Вывести псевдодалность по кодовому измерению на частоте  $f2$  ( $P2$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость. Оценить тренд значений псевдодалности до каждого спутника, разброс значений псевдодалности, их распределения, спектры. Объяснить результаты.
- II Вывести фазовые измерения на частоте  $f1$  ( $L1$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость. Вывести фазовые измерения на частоте  $f2$  ( $L2$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость. Оценить тренд значений фаз радиосигнала для каждого спутника, разброс значений, их распределения. Объяснить результаты.
- III Вывести доплеровские измерения на частоте  $f1$  ( $D1$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость. Вывести доплеровские измерения на частоте  $f2$  ( $D2$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость.
- IV Вывести измерения соотношения сигнал/шум на частоте  $f1$  ( $S1$ ) и  $f2$  ( $S2$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость.

### **Задание № 3**

1. Объяснить влияние ионосферы на распространение радиоволны.
2. Практическое задание:
  - Использовать файл с данными, полученный в предыдущем задании
  - Произвести расчет:
    - I. Рассчитать ионосферную задержку.
    - II. Рассчитать полное электронное содержание.

- III. Оценить среднее значение и дисперсию, временную зависимость. Объяснить результаты.
- IV. Оценить соотношение сигнал/шум, его среднее значение и дисперсию, временную зависимость. Сравнить с ионосферной задержкой радиосигнала. Объяснить результаты.

#### **Задание № 4**

1. Описать систему координат и времени, используемые в ГНСС.
2. Практическое задание:
  - Найти в базе данных (на серверах <ftp://ftp.glonass-iac.ru/IGS/PRODUCTS/> или <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/> ) файл с точными эфемеридами спутников навигационной системы (формат sp3) для даты измерений.
  - Найти описание формата данных и использовать файлы для расчета траекторий спутников, измерения которых проведены в задании №1.
  - Рассчитать по координатам пункта и траекториям спутника дальность радиотрасс, сравнить с измеренными значениями, объяснить результаты (можно воспользоваться программой Lab\_Eph.xmcd).
  - Рассчитать по координатам пункта и траекториям спутника углы возвышения и азимут радиотрасс, объяснить результаты.
  - Построить зависимость измерений дальности до спутника от угла возвышения радиотрассы.
  - Построить зависимость разности дальности до спутника и измеренной псевдодальности от угла возвышения радиотрассы, объяснить результаты.



## Задание № 5

1. Объяснить принцип работы спутниковых навигационных систем.
2. Практическое задание:
  - По данным измерений псевдодальности  $P$  и траекториям спутников, полученным в задании №4 произвести решение навигационной задачи.

Минимизировать целевую функцию ошибки:

$$f(X, Y, Z, \Delta t) = \sqrt{\sum_i \sum_j (P_{ij} - c\Delta t - R_{ij}(X, Y, Z))^2},$$

где:

$P$  – измеренная псевдодальность;

$R$  – расстояние от спутника до антенны приемника, как функция от координат;

$X, Y, Z$  – координаты антенны в геоцентрической системе координат;

$\Delta t$  – ошибка часов приемника.

Суммирование производится по всем спутникам и эпохам измерений.

- Сравнить полученные значения с измерениями приемника

## Задание № 6

1. Объяснить, чем обусловлена задержка радиосигнала в тропосфере.
2. Практическое задание: Рассчитать тропосферную задержку как разность псевдодальности, истинной дальности без ионосферной задержки по измерениям нескольких ГНСС спутников.
  - Вывести зависимость тропосферной задержки от угла возвышения радиотрассы. Объяснить результаты.
2. Рассчитать тропосферную задержку с использованием программного обеспечения TropoGNSS.

- Найти метеоданные для пункта измерений, оценить тропосферную погрешность измерений дальности по экспоненциальной модели тропосферы.
- Подобрать в базе данных файлы наблюдений в различных пунктах за один период времени. Провести статистическую обработку и оценить различие значений дальностей и фаз сигналов от одного спутника для различных приемных пунктов.

### **Задание № 7**

Объяснить, как водяной пар в атмосфере влияет на задержку спутникового радиосигнала.

Практическое задание:

- Рассчитать тропосферную задержку с использованием программного обеспечения TropoGNSS (Результаты задания №6).
- Рассчитать и исключить гидростатическую составляющую фазового набега по данным метеостанции для пункта измерений.
- Оценить интегральное влагосодержание в столбе атмосферы. Построить его временную зависимость.
- Объяснить результаты.

### **Задание № 8**

Объяснить, как атмосфера влияет на ослабление спутникового радиосигнала.

Практическое задание:

- Используя файлы измерений вывести измерения соотношения сигнал/шум на частоте  $f_1$  ( $S_1$ ) и  $f_2$  ( $S_2$ ) в виде графика и объяснить получившуюся зависимость.

- По данным метеостанции для пункта измерений оценить плотность атмосферы, влагосодержание в столбе атмосферы, их вариации. Сравнить вариации метеопараметров и вариации амплитуды сигналов, принятых приемником.
- Используя ряды ПЭС (результаты задания 3) сравнить вариации ПЭС и вариации амплитуды сигналов, принятых приемником.
- Объяснить результаты.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ**

### **Приложение 1. Наземный GPS/ГЛОНАСС приемник фирмы NovAtel OMV-3**

В лаборатории кафедры радиоастрономии для исследований используется приемник OMV -V3 канадской фирмы NovAtel. Приемник в настольном корпусе, приспособленном для переноски. Приемник может работать с сигналами как навигационной системы GPS, так и системы ГЛОНАСС на двух частотах, соответствующих каналам L1 и L2. Приемник помещен в ударопрочный металлический корпус. В приемнике используется оригинальная высокоточная система подавления интерференций при приходе нескольких отраженных радиосигналов, прошедших различные пути в атмосфере. Для ввода данных с приемника в компьютер имеет 3 COM порта и один USB порт.

## Технические характеристики приемников OMV-3

двухсистемный

двухчастотный, рабочая частота

1575.42 МГц и 1227.6 МГц

72 каналов слежения

Минимальная чувствительность - 135 Дб

Точность измерений :

Дальность по C/A код - 6 см

Фаза несущей - 0.75мм

Технология подавления многолучевости



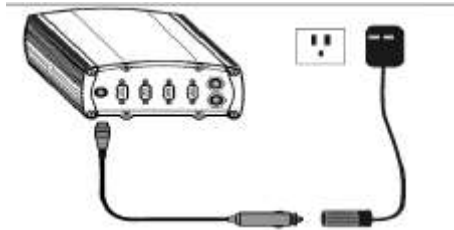
Частота выдачи измерений и координат 20Гц

Напряжение питания 12 В

Энергопотребление 1.2 Вт


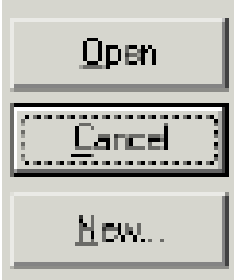
Диапазон рабочих температур -40°C до +75°C




## Подготовка приемника к работе

<p>Подключение антенны:</p> <p>Установить антенну на устойчивом штативе в месте, обеспечивающем полный обзор небосвода. Подключить антенный коаксиальный кабель к разъему антенны и к гнезду «GPS» на задней стенке приемника.</p>	 A line drawing of a GPS receiver with a flat, circular antenna mounted on a stand. A coaxial cable connects the antenna to the 'GPS' port on the back of the receiver.
<p>Подключение к компьютеру:</p> <p>Соединить COM1 порт приемника с COM или USB портом компьютера. При использовании USB порта на компьютере должны быть установлены драйверы, поставляемые с приемником.</p>	 A line drawing of the GPS receiver connected to a laptop. A cable with a COM port connector on one end and a USB connector on the other is plugged into the receiver and the laptop.
<p>Подключение электропитания:</p> <p>Подключить красный разъем питающего провода к разъему приемника, помеченному красным цветом. Соединить разъем питающего кабеля с сетевым адаптером. Включить адаптер в сеть. Над портом питания приемника должна загореться красная лампочка.</p>	 A line drawing of the GPS receiver connected to a power source. A power cable with a red connector is plugged into the receiver. The other end of the cable is connected to a power adapter, which is plugged into a standard wall outlet.

## *Программное обеспечение приемника*

После подключения GPS приемника к антенне и сети можно переходить к установлению связи с GPS спутниками, находящимися в области прямой видимости антенны. Это выполняется с помощью компьютера и включает шаги, описанные ниже.

<p>1. Запустить программу Novatel CDU из папки, в которую установлено математическое обеспечение приемника.</p> <p>2. Выбрать кнопку «Open» из меню «Device».</p>	
<p>3. Выбрать кнопку «New» в диалоговом окне «Open»</p>	

<p>4. Придумать и ввести имя вашей новой конфигурации в поле «Name» диалогового окна «New Config», затем выбрать кнопку «Settings».</p>	
<p>5. В меню «Serial Device Settings» выбрать из списка номер порта компьютера, к которому подключен приемник. 6. Выбрать скорость 57600 в поле «Baud Rate» 7. Убрать выделение поля «Use hardware handshaking» 8. Выбрать ОК для сохранения установок. 9. Выбрать ОК для закрытия диалогового окна «New Config».</p>	
<p>10. Выбрать введенное в п. 4 имя конфигурации из списка «Available device configs» в диалоговом окне «Open». 11. Выбрать кнопку «Open» для установления связи с приемником.</p>	



После соединения программы CDU с приемником открывается несколько окон, включая консольное окно. После этого система готова к работе. Информация о приемнике и его координатах находится в окнах, в которые можно войти через меню «View». Например, если в меню «View» выбрать пункт «Position Window», то появится окно, показывающее координаты приемника. Для получения информации о наблюдаемых спутниках надо в том же меню выбрать «Tracking Status Window» (GPS или GLONASS). Более детальную информацию о программе CDU можно найти в «Help».

Пример интерфейса программы CDU



## Приложение 2. Необходимые команды и сообщения приемника

Для управления GPS приемником и для изменения его настроек из программы CDU можно подавать специальные команды. Кроме того, для получения значений различных параметров, необходимых для определения атмосферных характеристик, приемник способен выдавать различные сообщения, которые могут выводиться на экран компьютера, либо записываться в файлы с данными. Полный список команд и сообщений приводится в сопроводительной документации по GPS приемнику (на английском языке). Здесь описываются команды и сообщения, необходимые для выполнения лабораторных работ.

### *Команды для настройки GPS приемника*

Программа CDU (см. Приложение 1) позволяет посылать команды приемнику с помощью консольного окна, открываемого из меню «View». Для отсылки команды надо:

- набрать команду в форматах ASCII, сокращенный ASCII, либо в двоичном формате.

Для работы с приемником наиболее удобен сокращенный ASCII формат. Для сбора данных лучше подходят ASCII, либо двоичный форматы.

- после ввода команды надо нажать «Enter», чтобы послать ее в приемник.
- различия между малыми и прописными буквами в командах нет.
- общий формат команд

ИмяКоманды [Порт] Параметр1 [Параметр2 ...]

Команда состоит из имени, номера порта (COM1, COM2, ...) и параметров. При выполнении лабораторных работ могут оказаться полезными следующие команды.

### *CLOCKADJUST Включение/выключение слежения за часами приемника*

Включает или выключает слежение за дрейфом часов приемника относительно системного времени GPS и введение соответствующих корректировок. Формат команды

clockadjust enable или clockadjust disable

Фабричная установка clockadjust enable.

### *CSMOOTH Задание интервала усреднения кодовых измерений GPS*

Команда задает интервал усреднения несущих волн при выполнении кодовых измерений по спутникам GPS системы. Формат

CSMOOTH f1time [f2time]

где f1time и f2time – интервалы усреднения для частот f1 и f2, соответственно.

Фабричная установка csmooth 100 100.

### *DYNAMICS Задание диапазона скоростей перемещения приемника*

Настраивает скорость слежения приемника за изменениями сигналов. Формат

DYNAMICS ДиапазонСкоростей

Параметр ДиапазонСкоростей может принимать значения AIR (скорости > 110 км/ч), LAND (скорости < 110 км/ч), FOOT (скорости < 11 км/ч).

Фабричная установка: dynamics air

### ***ECUTOFF Отсечка GPS спутников по углу места***

Задаёт минимально допустимый угол места GPS спутников, сигналы которых отслеживаются и обрабатываются. Формат команды

ECUTOFF Угол

где параметр «Угол» - минимально допустимый угол места GPS спутников.

Фабричная установка ecutoff 5.0

### ***FRESET Восстановление фабричных установок***

Убирает из памяти приемника все установки, выполненные пользователями. Формат

FRESET [параметр]

где «параметр» может принимать значения STANDARD, COMMAND, GPSALMANAC, GPSALMANAC, GLOALMANAC, GLOALMANAC, GPSEPHEM, GLOEPHEM, MODEL и др.

## *GLOECUTOFF Отсечка ГЛОНАСС спутников по углу места*

Задаёт минимально допустимый угол места ГЛОНАСС спутников, сигналы которых отслеживаются и обрабатываются. Формат команды

GLOECUTOFF Угол

где параметр «Угол» - минимально допустимый угол места ГЛОНАСС спутников (см. рис.2.3). Фабричная установка gloecutoff 5.0

## *SAVECONFIG сохранение установок в памяти приемника*

Формат команды:

SAVECONFIG

Записанная конфигурация может быть полностью или частично стерта командой FRESET.

### **Приложение 3 Сообщения приемника**

Все сообщения приемника выводятся по команде

log ИмяСообщения Параметры

Сообщения состоят из заголовка сообщения и информативной части. Здесь рассматриваются только сообщения, необходимые для выполнения лабораторных работ.

Стандартный заголовок для ASCII сообщения

Обычно заголовок сообщения включает следующие поля:

знак #,  
имя сообщения,  
компьютерный порт,  
номер сообщения в последовательности (обычно 0),  
процент времени простоя процессора,  
код качества времени GPS системы (см. Табл. A2.1 ниже),  
номер недели,  
время с начала GPS недели в секундах,  
статус приемника (16-ричный код),  
зарезервированное служебное поле,  
номер версии программного обеспечения,  
конец заголовка – знак ;

### ***BESTPOS Географические координаты приемника***

Выдает наилучшую для данных условий оценку широты, долготы и высоты приемника, а также ряд индикаторов. Типичная команда

```
log bestpos once
```

Сначала выводится заголовок, начиная со знака # до ; затем

- 1) надежность решения,
- 2) тип решения,
- 3) широта в градусах,
- 4) долгота в градусах,
- 5) высота над уровнем моря в метрах,
- 6) разница между геоидом и эллипсоидом в метрах,
- 7) идентификационный номер геодезических данных,

- 8) дисперсия широты,
- 9) дисперсия долготы,
- 10) дисперсия высоты,
- 11) номер базовой станции,
- 12) запаздывание дифференциала в секундах, 13) запаздывание решения в секундах,
- 14) число использованных измерений,
- 15) число использованных псевдодальностей L1,
- 16) число псевдодальностей L1 выше предельного угла,
- 17) число псевдодальностей L2 выше предельного угла,
- 18 – 21) служебные поля,
- 22) 32-битный код,
- 23) перевод строки

Пример вывода в ASCII моде

```
#BESTPOSA ,COM 1 ,0,6 1 .5 ,FINESTEERING, 1435 ,209400
.000,00000000 ,6 145 ,2770 ; SOL _COMPUTED ,SINGLE,59
.8808559 1 533 ,29 .8258989025 1 ,52 .61 85 , 15 .9502
,WGS84, 1 .4797, 1 .3427,3 .2208 , " " ,0 .0 00 ,0 .000, 13
, 1 3 ,0,0,0,06,0,33*6dac54a8
```

### ***BESTXYZ Геоцентрические координаты приемника***

Выдает наилучшую для данных условий оценку координат X, Y и Z приемника в геоцентрической системе координат, а также ряд индикаторов.

Типичная команда

```
log bestxyz once
```



Сначала выводится заголовок, начиная со знака # до ; затем

- 1) надежность решения,
- 2) тип решения,
- 3) X-координата в метрах,
- 4) Y-координата в метрах,
- 5) Z-координата в метрах,
- 6) дисперсия X-координаты,
- 7) дисперсия Y-координаты,
- 8) дисперсия Z-координаты,
- 9) надежность решения для скорости,
- 10) тип решения для скорости,
- 11) X-компонента скорости в м/с,
- 12) Y-компонента скорости в м/с,
- 13) Z-компонента скорости в м/с,
- 14) дисперсия X- скорости,
- 15) дисперсия Y-скорости,
- 16) дисперсия Z-скорости,
- 17) номер базовой станции,
- 18) сдвиг во времени измерения скорости,
- 19) сдвиг во времени дифференциальных измерений в секундах,
- 20) сдвиг во времени решения,
- 21) число использованных измерений,
- 22) число использованных псевдодальностей L1,
- 23) число псевдодальностей L1 выше предельного угла,
- 24) число псевдодальностей L2 выше предельного угла,
- 25)-28) служебные поля,
- 29) 32-битный код,

30) перевод строки.

Пример вывода в ASCII моде

```
#BESTXYZA,COM 1 ,0,6 1 .5,FINESTEERING, 1435,209400 .000  
,00000000,d82 1,2770 ; SOL _COMPUTED,S INGLE,27836 15 . 1932 ,  
1595862 .8344 ,5493887 .500 1 , 1 .64 13 , 1 .3 106 ,3 . 155 1  
,SOL _COMPUTED ,DOPPLER _VELOCITY , -0 .0054 , -0 .0057 , -0  
.0267 ,0 . 1962 ,0 . 1566 ,0 .377 1 , " " ,0 . 150 ,0 .000 ,0  
.000 , 13 , 13 ,0 ,0 ,0,06 ,0,33 *ebee45fa
```

### *BESTXYZ Геоцентрические координаты приемника*

Выдает наилучшую для данных условий оценку координат X, Y и Z приемника в геоцентрической системе координат, а также ряд индикаторов.

Типичная команда

```
log bestxyz once
```

Сначала выводится заголовок, начиная со знака # до ; затем

- 1) надежность решения,
- 2) тип решения,
- 3) X-координата в метрах,
- 4) Y-координата в метрах,
- 5) Z-координата в метрах,
- 6) дисперсия X-координаты,
- 7) дисперсия Y-координаты,
- 8) дисперсия Z-координаты,

- 9) надежность решения для скорости,
- 10) тип решения для скорости,
- 11) X-компонента скорости в м/с,
- 12) Y-компонента скорости в м/с,
- 13) Z-компонента скорости в м/с,
- 14) дисперсия X- скорости,
- 15) дисперсия Y-скорости,
- 16) дисперсия Z-скорости,
- 17) номер базовой станции,
- 18) сдвиг во времени измерения скорости,
- 19) сдвиг во времени дифференциальных измерений в секундах,
- 20) сдвиг во времени решения,
- 21) число использованных измерений,
- 22) число использованных псевдодальностей L1,
- 23) число псевдодальностей L1 выше предельного угла,
- 24) число псевдодальностей L2 выше предельного угла,
- 25)-28) служебные поля,
- 29) 32-битный код,
- 30) перевод строки.

#### Пример вывода в ASCII моде

```
#BESTXYZA, COM 1 , 0, 6 1 .5, FINESTEERING, 1435, 209400 .000
, 00000000, d82 1, 2770 ; SOL _COMPUTED, S INGLE, 27836 15 . 1932 ,
1595862 .8344 , 5493887 .500 1 , 1 .64 13 , 1 .3 106 , 3 . 155 1
, SOL _COMPUTED , DOPPLER _VELOCITY , -0 .0054 , -0 .0057 , -0
.0267 , 0 . 1962 , 0 . 1566 , 0 .377 1 , " " , 0 . 150 , 0 .000 , 0
.000 , 13 , 13 , 0 , 0 , 0, 06 , 0, 33 *ebee45fa
```

## *RANGE Информация о псевдодальностях до спутников*

RANGE дает информацию о псевдодальностях для всех видимых в данный момент спутниках. Типичная команда

```
log rangea once
```

Важно удостовериться, что часы приемника установлены. Это можно увидеть по наличию соответствующего бита в поле «статус приемника» в заголовке сообщения. Выводимые ошибки измерений (дисперсии) отражают только тепловой шум приемника.

Сначала выводится заголовок, начиная со знака # до ; затем число строк в сообщении; потом – информация для каждого спутника. Информационная строка для каждого спутника содержит:

- 1) номер спутника, номер ГЛОНАСС частоты,
- 2) кодовую псевдодальность в метрах,
- 3) ее дисперсию,
- 4) фазовую псевдодальность в длинах радио волны,
- 5) ее дисперсию,
- 6) доплеровскую частоту в герцах, отношение сигнал/шум,
- 7) интервал непрерывного слежения за фазой в секундах,
- 8) статус записи (16-ричный код).


При двухчастотных измерениях для каждого спутника выводятся две строки с одинаковым номером спутника и информацией о псевдодальностях на частотах f1 (первая строка) и f2 (вторая строка).

Пример вывода в ASCII моде:

```
#RANGEA,COM 1 ,0 ,6 1 .5 ,FINESTEERING, 1435 ,209400 .000  
,00000000 ,5 103,2770;26 , 24 ,0,246 1 1970 .785,0 . 128 , -  
129336782 .560896 ,0 .0 1 1 , 1935 .703,44 .2,372 .550 , 18
```

109c04, 24 ,0,246 1 197 1 .724, 1 .086 , - 10078 190 1 .633855  
,0 .0 18, 1508 .340,33 .4,236 .820 , 1 1309c0b, 2 ,0 ,233 12833  
.438 ,0 .096, -122509764 .83900 1 ,0 .0 13 , -2535 .059 ,46 .7  
,372 .470,08 109c24 , 2 ,0 ,233 12830 .976 ,0 .47 1 , -95462 14  
1 .986745 ,0 .0 13 , -1975 .375 ,40 .7 ,238 .380 ,0 1309c2b , 4  
,0 ,25065849 .949 ,0 . 137, -13 172 19 14 .22 1047,0 .0 14 , -  
3478 . 12 1 ,43 .6 ,372 .450,08 109c44 , 4 ,0 ,25065850 .643 ,0  
.90 1 , -102640454 .460443,0 .0 19 , -27 10 .227 ,35 .0 ,238  
.360,0 1309c4b, 25 ,0,20482274 .054 ,0 .057 , - 107635075  
.652798 ,0 .005 ,44 .44 1 ,5 1 .3 ,372 .730 , 18 109c64 , 25  
,0,2048227 1 .473,0 .252 , -8387 1479 .3760 14,0 .005 ,34 .629  
,46 . 1 ,238 .380, 1 1309c6b, 23 ,0,22694 127 .4 17,0 .083 , - 1  
19258440 .306050 ,0 .008, -3239 .39 1 ,47 .9,372 .5 10 , 18  
109c84 , 23 ,0,22694 123 .783 ,0 .534 , -9292864 1 . 13 19 13 ,0  
.008 , -2524 .203 ,39 .6 ,238 .260 , 1 1309c8b , 27 ,0,2 1235707  
.999,0 .060 , - 1 1 1594398 .046450 ,0 .006, 1472 .0 12,50  
.8,372 .470 ,08 109d04 , 27 ,0,2 1235706 .669,0 .273 , -86956666  
.88 1407,0 .006 , 1 147 .023 ,45 .4 ,238 .380,0 1309d0b, 10  
,0,222 1 1 156 . 14 1 ,0 .077 , - 1 167204 12 .253069 ,0 .009  
,2444 . 125,48 .6 ,372 .388 ,08 109d24 , 10 ,0,222 1 1 154 .72 1  
,0 .459 , -90950966 .9 13835,0 .009 , 1904 .508 ,40 .9 ,236  
.740,0 1309d2b, 16 ,0,23632356 .5 19,0 . 108 , - 124 188862  
.830928 ,0 .009, -2400 .898,45 .7,372 .720 , 18 109d44 , 16  
,0,23632354 . 175,0 .865 , -96770535 .7 10020,0 .0 1 1 , - 1870  
.832 ,35 .4 ,238 .380, 1 1309d4b, 8,0 ,22755442 .033 ,0 .084, -1  
1958066 1 .37 1382,0 .008 ,3348 .824 ,47 .9 ,372 .470,08 109d64  
, 8,0 ,2275544 1 . 129 ,0 .526, -93 179728 . 1 15330 ,0  
.008,2609 .469,39 .7,238 .280 ,0 1309d6b, 13 ,0,2073063 1 .622  
,0 .058 , - 108940202 .498639 ,0 .006 , -1883 .633 ,5 1 .0 ,372  
.420 , 18 109d84 , 13 ,0,20730628 .905,0 .286 , -84888459  
.504392,0 .006 , - 1467 .770 ,45 .0 ,238 .260, 1 1309d8b, 44 ,12  
,2 12907 18 .398 ,0 . 176, -1 13970880 .7 162 12,0 .009 ,3325 .  
125 ,47 .5 , 187 .380,08 1 19e04 , 44 ,12 ,2 12907 18 . 154 ,0 .  
193, -88644025 .6873 15 ,0 .00 1 ,2586 .207,4 1 .4, 18 1 .9 12 ,  
10b19e0b, 43 ,8, 19348049 .7 1 1 ,0 . 148 , - 1034264 16 .025308  
,0 .008, -753 .9 14 ,49 .0 , 187 .340,08 1 19f04 , 43 ,8,  
19348045 .809 ,0 . 155 , -80442756 .437077 ,0 .000 , -586 .383  
,43 .3 , 18 1 .436 ,00b19f0b, 60 ,10 ,229855 19 .608 ,0 .300, -  
122957028 .929487,0 .0 16 , -2045 .465 ,42 .8 , 187 .370, 18 1  
19f44 , 60 ,10 ,22985522 .985 ,0 .449, -956333 16 .424437 ,0  
.002, -1590 .922,34 . 1 , 183 .480 ,00b19f4b\*c54a0 1af

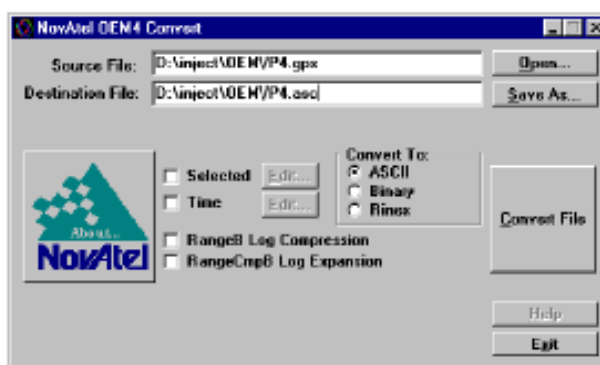
#### Приложение 4 Запись измерений в файл

На панели инструментов CDU нажмите  . Появится окно настройки вывода сообщений приемника в файл. Там задаются параметры:

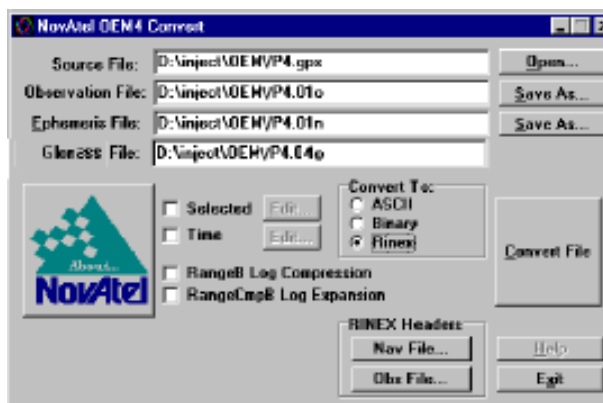
- Набор нужных сообщений приемника
- Имя файла
- Инициирование записи данных в файл
- Инициирование входа к последовательным портам приемника
- Указание окно времени для регистрации данных
- Остановка регистрации

## Приложение 5 Преобразование данных из двоичного формата

Для преобразования данных из двоичного формата в формат RINEX или ASCII используется программа Convert из папки, в которую установлено математическое обеспечение приемника. Диалоговое окно Convert показано на рисунке.



Преобразование данных из двоичного формата в формат ASCII



Преобразование данных из двоичного формата в формат RINEX

## Приложение 6 Формат RINEX

Для того чтобы привести данные, полученные приемниками различных производителей, к единому стандартному формату, используется их представление в формате RINEX.

Каждый из файлов RINEX состоит из заголовка и основного массива записанных данных. В заголовке к файлу результатов наблюдений содержится следующая основная информация:

- версия формата и показатели, идентифицирующие файл;
- дата и время начала сеанса наблюдений;
- условное название пункта;
- информация о наблюдателе и его организации;
- тип приемника и антенны;
- приближенные координаты пункта в системе WGS-84;
- величины, характеризующие вынос фазового центра относительно закрепленной на местности марки;
- система отсчета фазовых измерений;
- вид наблюдений;
- время записи первого наблюдения;
- другая вспомогательная информация.

Следующий за заголовком массив включает в себя:

- данные, характеризующие эпоху наблюдений (год, месяц, число, часы, минуты и секунды);
- количество спутников в записанной эпохе и их номера;
- уход показаний часов приемника (в секундах); значения определенных псевдодальностей с использованием C/A-кода и P-кода (в метрах);

- результаты фазовых измерений (для эпохи, начиная со второй, приводятся приращения фазы относительно предыдущей эпохи в долях цикла с соответствующим знаком);
- доплеровский сдвиг частоты сигнала (Гц);

Данные представлены в виде таблицы со столбцами:

- $C1$  – псевдодальность используя  $C/A$ -код на частоте  $L1$ .
- $P1, P2$  – псевдодальность используя  $P$ -код на частотах  $L1, L2$  соответственно.
- $L1, L2$  – фазовые измерения на частотах  $L1, L2$  соответственно.
- $D1, D2$  – доплеровский сдвиг частоты на частотах  $L1, L2$  соответственно.
- $S1, S2$  – отношение сигнал/шум.

## Приложение 7 Файлы орбит спутников

Файлы орбит формата  $sp3$  являются продуктами Всемирной Службы ГНСС (IGS) и могут быть получены с ее сайта по адресу [http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html)

Имя файла орбит имеет структуру:

$igs+GPSWEEK+DAY+.sp3$

где  $igs$  – это стандартное слово для финальных продуктов,

$GPSWEEK$  – номер недели

$GPS, DAY$  – номер дня в недели GPS (воскресенье – 0, понедельник – 1, суббота – 6),

$sp3$  – расширение файла.

Воспользуемся GPS календарем за 2012 год:

[http://www.bkg.bund.de/nn\\_178726/geodIS/GREF/SharedDocs/Downloads/GPS\\_Kalender/GPS\\_Kalender\\_2012,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GPS\\_Kalender\\_2012.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_178726/geodIS/GREF/SharedDocs/Downloads/GPS_Kalender/GPS_Kalender_2012,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GPS_Kalender_2012.pdf)



Находим, что этот день – пятница, номер GPS недели 1700. Соответственно:

$GPSWEEK = 1700$

$DAY = 5$

Имя файла за день измерений: igs17005.sp3

Соответственно имя файла за предыдущий день: igs17004.sp3

Имя файла орбит за последующий день igs17006.sp3

## Приложение 8. Визуализация и обработка измерений

Визуализация и обработка измерений обеспечена примером программы Lab\_asc.xmcd из папки, в которую установлено математическое обеспечение приемника. Там же пример данных в формате ASCII.

Пример ввода данных из файла «lab\_ksu.ASC»

```
File_name := "lab_ksu.ASC"
```

Введите имя файла

```
RF := READFILE(File_name, "delimited")
```

RF – имя массива, в который считываются данные.

Пример информации, которую можно вывести из считанного файла.

	0	1	2
0	"#RANGEA"	"COM2"	0
1	"#RANGEA"	"COM2"	0
2	"#RANGEA"	"COM2"	0
3	"#RANGEA"	"COM2"	0
4	"#RANGEA"	"COM2"	0
5	"#RANGEA"	"COM2"	0
6	"#RANGEA"	"COM2"	0
RF = 7	"#RANGEA"	"COM2"	0
8	"#RANGEA"	"COM2"	0
9	"#RANGEA"	"COM2"	0
10	"#RANGEA"	"COM2"	0
11	"#RANGEA"	"COM2"	0
12	"#RANGEA"	"COM2"	0
13	"#RANGEA"	"COM2"	0
14	"#RANGEA"	"COM2"	0
15	"#	0	"COM2" ...

Week := RF<sup>0,5</sup> Week = 1632

Day := trunc( $\frac{RF_{0,6}}{24 \cdot 3600}$ ) Day = 4

time := RF<sup>6</sup> - Day · 24 · 3600      time<sub>1</sub> = 2.792 × 10<sup>4</sup>

Ncol := cols(RF)      Nsatellite :=  $\frac{Ncol - 10}{20}$   
 Ncol = 310      Nsatellite = 15

GPS неделя  
 день с начала GPS недели  
 время измерения с начала суток в секундах  
 Общее число измерений со спутников в файле (по 20 колонок на один спутник)

### Вывод измерений для спутников

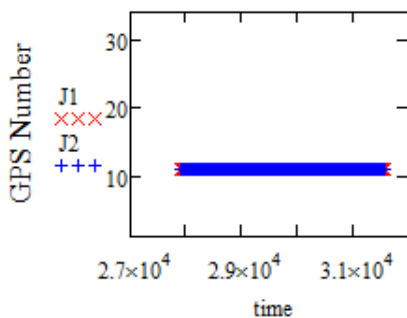
#### 1) Определение номера спутника в созвездии GPS

Ns := 1

Введите порядковый номер измерений

i := 0..rows(RF) - 1

J1 := RF<sup><10+20(Ns-1)></sup>      J2 := RF<sup><20+20(Ns-1)></sup>



**Вывод номеров спутника**  
 Проверьте качество измерений по стабильности номеров спутников. Если нумерация нестабильна, отредактируйте файл измерений, сдвигая ячейки

### Визуализация измерений

#### Вывод измерений по типам в массивы

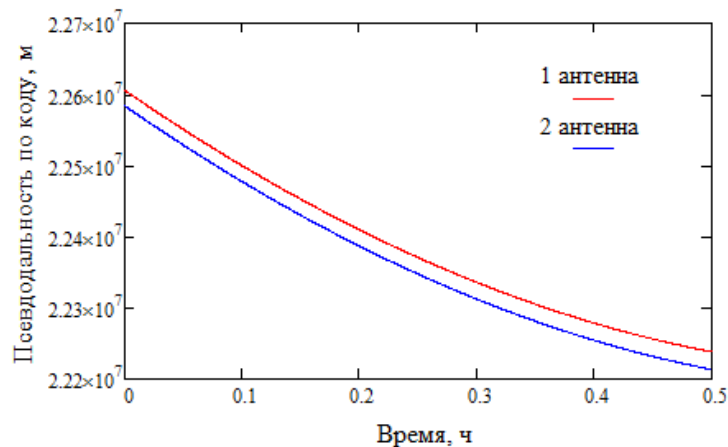
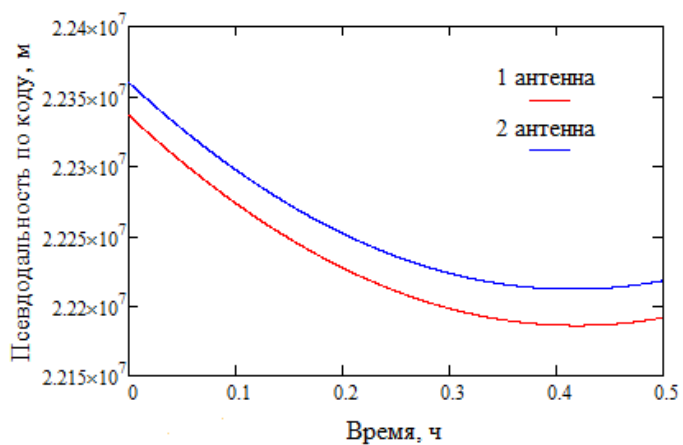
P1 := RF<sup><12+20(Ns-1)></sup>      F1 := RF<sup><14+20(Ns-1)></sup>      D1 := RF<sup><16+20(Ns-1)></sup>      S1 := RF<sup><17+20(Ns-1)></sup>  
 P2 := RF<sup><22+20(Ns-1)></sup>      F2 := RF<sup><24+20(Ns-1)></sup>      D2 := RF<sup><26+20(Ns-1)></sup>      S2 := RF<sup><27+20(Ns-1)></sup>

2.6 × 10<sup>7</sup>      -9 × 10<sup>7</sup>

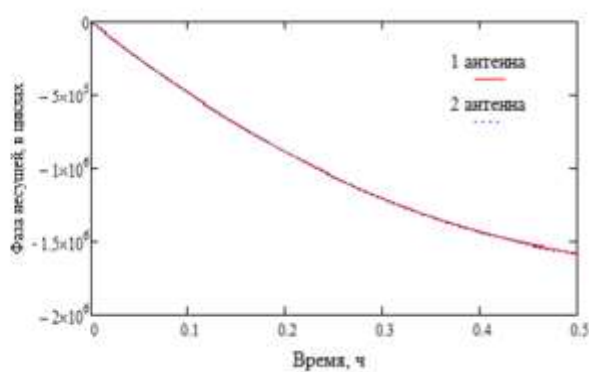
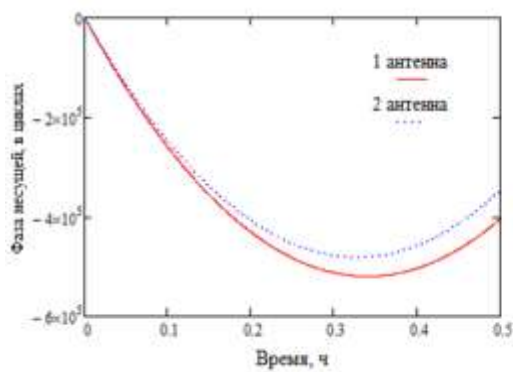
P - дальность по коду, м  
 F - дальность по фазе, цикл  
 D - доплеровский сдвиг  
 S - сигнал/шум  
 1 и 2 - частоты измерения

### Построение графиков

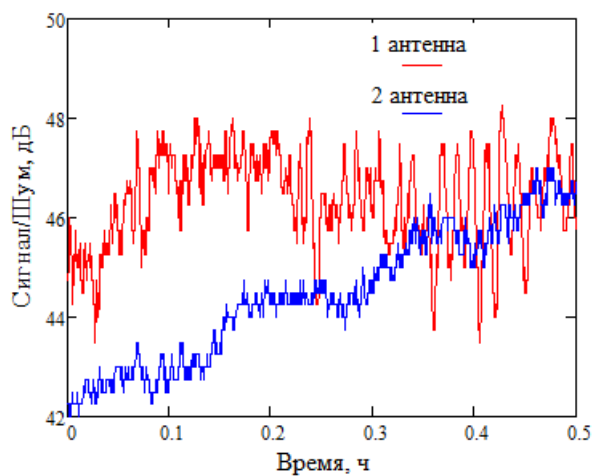
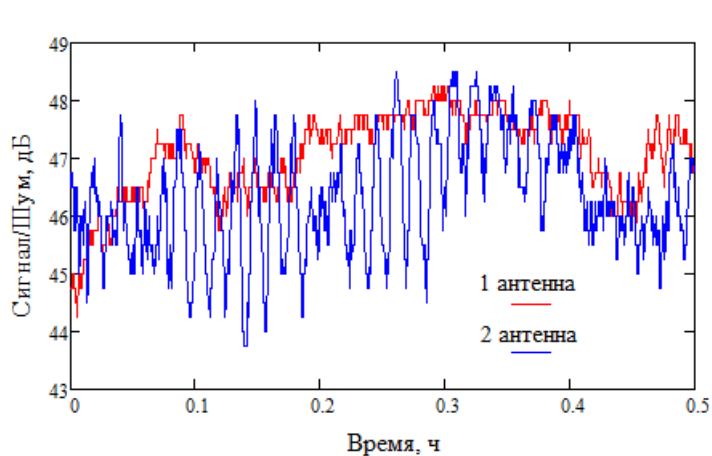
Зависимость измеренной псевдодальности по коду от времени за 3.12.08 и 29.12.08 для спутника GPS №10



Зависимости измеренной фазы несущей от времени спутника за 3.12.08 и 29.12.08 для спутника GPS №10



Отношение сигнал шум за 3.12.08 и 29.12.08 для спутника GPS №10



## Расчет орбит спутников по данным файлов орбит

Ввод файла эфемерид Проверить совпадение даты с наблюдениями!!!

file\_ef := "esa16324.sp3"

ef := READFILE(file\_ef, "delimited", 23)

$$\left( \text{ef}^T \right)^{\langle \omega \rangle^T} = \left( \text{"*"} \quad 2.011 \times 10^3 \quad 4 \quad 21 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right)$$

### Интерполяция координат спутников

Day

```
dR :=
i0 ← 0
for t ∈ 0..95
  ct,0 ←  $\frac{\text{ef}_{i0,5}}{60} + \text{ef}_{i0,4}$ 
  i0 ← i0 + 1
  while efi0,0 ≠ "*" ∧ i0 < rows(ef) - 1
    j ← str2num(substr(efi0,0,2,2))
    j ← j + 50 if substr(efi0,0,0,2) = "PR"
    ct,j ←  $\begin{cases} \text{ef}_{i0,4} \cdot 299.792458 & \text{if } \text{ef}_{i0,4} < 9999 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$ 
    i0 ← i0 + 1
  t ← t + 1
c
```

```
Xs :=
i0 ← 0
for t ∈ 0..95
  ct,0 ←  $\frac{\text{ef}_{i0,5}}{60} + \text{ef}_{i0,4}$ 
  i0 ← i0 + 1
  while efi0,0 ≠ "*" ∧ i0 < rows(ef) - 1
    j ← str2num(substr(efi0,0,2,2))
    j ← j + 50 if substr(efi0,0,0,2) = "PR"
    ct,j ← efi0,1 · 1000
    i0 ← i0 + 1
  t ← t + 1
c
```

```
Ys :=
i0 ← 0
for t ∈ 0..95
  ct,0 ←  $\frac{\text{ef}_{i0,5}}{60} + \text{ef}_{i0,4}$ 
  i0 ← i0 + 1
  while efi0,0 ≠ "*" ∧ i0 < rows(ef) - 1
    j ← str2num(substr(efi0,0,2,2))
    j ← j + 50 if substr(efi0,0,0,2) = "PR"
    ct,j ← efi0,2 · 1000
    i0 ← i0 + 1
  t ← t + 1
c
```

```
Zs :=
i0 ← 0
for t ∈ 0..95
  ct,0 ←  $\frac{\text{ef}_{i0,5}}{60} + \text{ef}_{i0,4}$ 
  i0 ← i0 + 1
  while efi0,0 ≠ "*" ∧ i0 < rows(ef) - 1
    j ← str2num(substr(efi0,0,2,2))
    j ← j + 50 if substr(efi0,0,0,2) = "PR"
    ct,j ← efi0,3 · 1000
    i0 ← i0 + 1
  t ← t + 1
c
```

$$\underline{J} := 1, \text{cols}(Xa) - 1, \text{cols}(Xa) = 73$$

$$dB(t, J) := \text{intstep}(dB^{(0)}, dB^{(0)}, t)$$

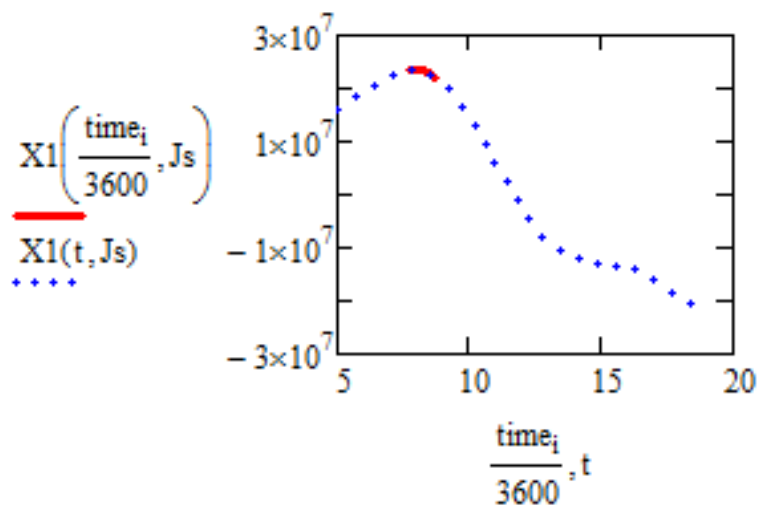
$$X1(t, J) := \left[ \begin{array}{l} tc \leftarrow \frac{\text{round}(t \cdot 4)}{4} \\ n \leftarrow \text{match}(tc, Xa^{(0)})_0 \\ \sum_{l=0}^{n-5} \left[ X_{n,l} \prod_{k=l-5}^{l-1} \left( \begin{array}{l} 1 \text{ if } k=1 \\ t - X_{k,0} \\ X_{l,0} - X_{k,0} \text{ otherwise} \end{array} \right) \right] \end{array} \right]$$

$$Y1(t, J) := \left[ \begin{array}{l} tc \leftarrow \frac{\text{round}(t \cdot 4)}{4} \\ n \leftarrow \text{match}(tc, Xa^{(0)})_0 \\ \sum_{l=0}^{n-5} \left[ Y_{n,l} \prod_{k=l-5}^{l-1} \left( \begin{array}{l} 1 \text{ if } k=1 \\ t - X_{k,0} \\ X_{l,0} - X_{k,0} \text{ otherwise} \end{array} \right) \right] \end{array} \right]$$

$$Z1(t, J) := \left[ \begin{array}{l} tc \leftarrow \frac{\text{round}(t \cdot 4)}{4} \\ n \leftarrow \text{match}(tc, Xa^{(0)})_0 \\ \sum_{l=0}^{n-5} \left[ Z_{n,l} \prod_{k=l-5}^{l-1} \left( \begin{array}{l} 1 \text{ if } k=1 \\ t - X_{k,0} \\ X_{l,0} - X_{k,0} \text{ otherwise} \end{array} \right) \right] \end{array} \right]$$

Визуализация траектории спутника

$$t := 5..19$$



Расчет радиотрасс

## Ввод координат антенн

$$Xa1 := 2352370.385 \quad Ya1 := 2717400.358 \quad Za1 := 5251527.938$$

$$\phi1 := 0.974 \cdot \text{deg} \quad \lambda1 := 0.857 \cdot \text{deg} \quad ha1 := 132.237$$

$$Ra1 := \sqrt{Xa1^2 + Ya1^2 + Za1^2}$$

$$\frac{\phi1}{\text{deg}} = \blacksquare \quad \frac{\lambda1}{\text{deg}} = \blacksquare$$

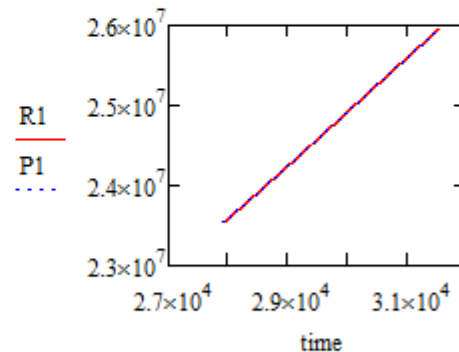
$$a := 6378137 \quad e2 := 6.69437999013 \cdot 10^{-3}$$

$$ne1 := \begin{pmatrix} -\sin(\phi1) \cdot \cos(\lambda1) \\ -\sin(\phi1) \cdot \sin(\lambda1) \\ \cos(\phi1) \end{pmatrix} \quad e1 := \begin{pmatrix} -\sin(\lambda1) \\ \cos(\lambda1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad u1 := \begin{pmatrix} \cos(\phi1) \cdot \cos(\lambda1) \\ \cos(\phi1) \cdot \sin(\lambda1) \\ \sin(\phi1) \end{pmatrix}$$

Расчет радиотрассы спутника, длина трассы R1, угол возвышения E1, азимут Az1

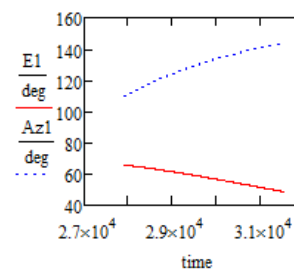
$$\omega_e := 7.2921151467 \cdot 10^{-5} \quad \Delta t := \frac{1}{3600} \quad Js = 11$$

$$R1_i := \begin{cases} 0 & \text{if } P1_i = 0 \\ \text{otherwise} \\ dt \leftarrow \frac{P1_i \cdot \Delta t}{299792458} \\ t \leftarrow \text{time}_i \cdot \Delta t - dt \\ \Omega \leftarrow \omega_e \cdot dt \\ Xs0 \leftarrow X1(t, Js) \\ Ys0 \leftarrow Y1(t, Js) \\ Zs \leftarrow Z1(t, Js) \\ Xs \leftarrow Xs0 \cdot \cos(\Omega) + Ys0 \cdot \sin(\Omega) \\ Ys \leftarrow Ys0 \cdot \cos(\Omega) - Xs0 \cdot \sin(\Omega) \\ XS \leftarrow Xs - Xa1 \\ YS \leftarrow Ys - Ya1 \\ ZS \leftarrow Zs - Za1 \\ -dR1(t, Js) + \sqrt{XS^2 + YS^2 + ZS^2} \end{cases}$$



Зависимость расчетной дальности радиотрассы спутника R1 и измеренной псевдодальности P1 от времени

$$\begin{array}{l}
 E1_i := 0 \text{ if } P1_i = 0 \\
 \text{otherwise} \\
 dt \leftarrow \frac{P1_i \cdot \Delta t}{299792458} \\
 t \leftarrow \text{time}_i \cdot \Delta t - dt \\
 XS \leftarrow X1(t, Js) - Xa1 \\
 YS \leftarrow Y1(t, Js) - Ya1 \\
 ZS \leftarrow Z1(t, Js) - Za1 \\
 \rho \leftarrow \frac{\begin{pmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{pmatrix}}{R1_i} \\
 \text{Zenit} \leftarrow \text{acos}(\rho \cdot u1) \\
 \frac{\pi}{2} - \text{Zenit}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 Az1_i := 0 \text{ if } P1_i = 0 \\
 \text{otherwise} \\
 dt \leftarrow \frac{P1_i \cdot \Delta t}{299792458} \\
 t \leftarrow \text{time}_i \cdot \Delta t - dt \\
 XS \leftarrow X1(t, Js) - Xa1 \\
 YS \leftarrow Y1(t, Js) - Ya1 \\
 ZS \leftarrow Z1(t, Js) - Za1 \\
 RS \leftarrow \sqrt{XS^2 + YS^2 + ZS^2} \\
 \rho \leftarrow \frac{\begin{pmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{pmatrix}}{R1_i} \\
 \text{Azim} \leftarrow \text{angle}(\rho \cdot ne1, \rho \cdot e1) \\
 \text{Azim}
 \end{array}$$



Зависимость угла возвышения и азимута радиотрассы от времени

## Приложение 9 Краткое руководство к приложению TropoGNSS

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Приложение TropoGNSS реализует алгоритм оценивания суточного тренда зенитной тропосферной задержки (ZTD) сигналов GPS. Вся входная информация должна содержаться в файлах, формат которых описан ниже.

Результатом работы приложения является файл суточного тренда зенитной тропосферной задержки. Пути ко всем входным данным и файлу результата описываются через bat-файл.

### СОСТАВ bat-ФАЙЛА

Приложение TropoGNSS управляется bat-файлом, который имеет следующий вид:

```

set name0=process.sys
set name1=station.YYo
set name2=yesterday.sp3
set name3=today.sp3

```



```
set name4=tomorrow.sp3
set name5=today.clk_30s
set name6=SatOff.txt
set name7=station.crd
set name8=station.ngs
set name9=station.blq
set name10=result.csv
TropoGNSS.exe
```

где process.sys – файл настроек процесса обработки данных;  
station.YY0 – суточный файл измерений на станции формата O  
RINEX;

yesterday.sp3, today.sp3, tomorrow.sp3 – файлы орбит спутников за день предшествующий дню измерений, за день измерений и за последующий день.

today.clk\_30s – файл ошибок часов спутников за день измерений.

SatOff.txt – файл калибровки спутников.

station.crd – файл координат станции.

station.ngs – файл калибровки антенны приемника.

station.blq – файл океанических приливов. result.csv – файл результата

## ФАЙЛ НАСТРОЕК ОБРАБОТКИ

Настройки процесса обработки данных хранятся в отдельном системном файле process.sys и могут меняться по усмотрению пользователя.

Лучше использовать следующие значения:

```
zenith_mask=80
```

```
delta_t=300
```

```
obs_std=16
```

process\_noise=7

## ФАЙЛ ИЗМЕРЕНИЙ

Файл измерений формата O RINEX является основным. К нему предъявляются следующие требования:

- файл измерений должен обязательно содержать L1 и L2 измерения
- файл должен содержать хотя бы одно из измерений: C1, P1, P2

## ФАЙЛЫ ОРБИТ

Файлы орбит формата sp3 являются продуктами Всемирной Службы ГНСС (IGS) и могут быть получены с ее сайта по адресу [http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html)

Имя файла орбит имеет структуру:

igs+GPSWEEK+DAY+.sp3

где igs – это стандартное слово для финальных продуктов, GPSWEEK – номер недели

GPS, DAY – номер дня в недели GPS (воскресенье – 0, понедельник – 1, суббота - 6), sp3 –

расширение файла.

Пример. Измерения проведены 10 августа 2012 года. Какие файлы орбит нужны?

Воспользуемся GPS календарем за 2012 год:

[http://www.bkg.bund.de/nn\\_178726/geodIS/GREF/SharedDocs/Downloads/GPS\\_\\_Kalender/GP](http://www.bkg.bund.de/nn_178726/geodIS/GREF/SharedDocs/Downloads/GPS__Kalender/GP)

[S\\_\\_Kalender\\_\\_2012,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GPS\\_Kalender\\_2012.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_178726/geodIS/GREF/SharedDocs/Downloads/GPS__Kalender/GP)

Находим, что этот день – пятница, номер GPS недели 1700. Соответственно:

GPSWEEK = 1700

DAY = 5

Имя файла за день измерений: igs17005.sp3

Соответственно имя файла за предыдущий день: igs17004.sp3

Имя файла орбит за последующий день igs17006.sp3

## ФАЙЛ ОШИБОК ЧАСОВ СПУТНИКОВ

Файлы ошибок часов спутников формата clk являются продуктами Всемирной Службы ГНСС (IGS) и могут быть получены с ее сайта по адресу: [http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html)

Имя файла часов имеет структуру:

igs+GPSWEEK+DAY+.clk\_30s

где igs – это стандартное слово для финальных продуктов,

GPSWEEK – номер недели

GPS, DAY – номер дня в недели GPS (воскресенье – 0, понедельник – 1, суббота - 6),

clk\_30s – расширение файла.

Пример. Измерения проведены 10 августа 2012 года. Какой файл часов нужен? Аналогично предыдущему разделу можно найти, что GPSWEEK = 1700 и DAY = 5.

Следовательно, имя нужного файла igs17005.clk\_30s. В отличие от орбит, для работы

приложения TropicGNSS нужно иметь только один файл часов.

Если файл часов недоступен, то в bat-файле нужно ввести:

```
set name5=no ne
```

В этом случае будет получен результат, но с потерей точности.

## ФАЙЛ КАЛИБРОВКИ СПУТНИКОВ

Файл калибровки спутников имеет вид:

G 1	IIA	279.00	0.00	2622.00
G 2	IIR-B	0.00	0.00	778.60
G 3	IIA	279.00	0.00	2792.60
G 4	IIA	279.00	0.00	2420.00
G 5	IIR-M	0.00	0.00	822.60
G 6	IIA	279.00	0.00	2878.80
G 7	IIR-M	0.00	0.00	852.90
G 8	IIA	279.00	0.00	2578.10
G 9	IIA	279.00	0.00	2461.40
G10	IIA	279.00	0.00	2546.50
G11	IIR-A	0.00	0.00	1141.30
G12	IIR-M	0.00	0.00	840.90
G13	IIR-A	0.00	0.00	1359.50
G14	IIR-A	0.00	0.00	1345.40
G15	IIR-M	0.00	0.00	651.10
G16	IIR-A	0.00	0.00	1506.40
G17	IIR-M	0.00	0.00	827.10
G18	IIR-A	0.00	0.00	1290.90
G19	IIR-B	0.00	0.00	849.60
G20	IIR-A	0.00	0.00	1343.80
G21	IIR-A	0.00	0.00	1406.40
G22	IIR-B	0.00	0.00	905.30
G23	IIR-B	0.00	0.00	808.30
G24	IIA	279.00	0.00	2608.80
G25	IIF	394.00	0.00	1527.30
G26	IIA	279.00	0.00	2459.40
G27	IIA	279.00	0.00	2633.40
G28	IIR-A	0.00	0.00	1042.80
G29	IIR-M	0.00	0.00	857.10
G30	IIA	279.00	0.00	2612.70
G31	IIR-M	0.00	0.00	971.40
G32	IIA	279.00	0.00	2777.30

Где первая колонка – имена спутников GPS. Третья, четвертая и пятая колонки – параметры калибровки спутников. Эти параметры меняются очень редко, их значения

можно найти в файле ANTEX08:

<http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs08.atx>

Пример. Какие параметры калибровки были валидны для спутника G27 10 августа 2012 года?

Находим в файле ANTEX08 запись для спутника G27, в промежутке валидности которой попадает наша дата (этот промежуток выделен красным цветом). Соответствующие параметры выделены зеленым цветом.

```

#BXPRG 000          #027          #027          1992-0528 TYPE / SERIAL NO
#CORS/TYPE/REF/REF/MET D 25-MAR-14 INRS / SV / I / RATE
0.0
0.0 16.8 1.0
1992  8  8  0  0  0.0000000
2012 10 17 23 59 59.9999999
10000 1.000
G01
279.00 0.00 2633.40
NORAD1 -0.80 -0.90 -0.90 -0.80 -0.40 0.20
G01
G01
279.00 0.00 2633.40
NORAD1 -0.80 -0.90 -0.90 -0.80 -0.40 0.20
G02
END OF ANTENNA
START OF ANTENNA
1992-0528 TYPE / SERIAL NO
25-MAR-14 INRS / SV / I / RATE
DATE
REF1 / REF2 / DREF
F OF FREQUENCIES
VALID FROM
VALID UNTIL
SINEX CODE
START OF FREQUENCY
NORTH / EAST / UP
0.80 1.00 1.40 1.20 0.70 0.00 -0.40 -0.70 -0.90
END OF FREQUENCY
START OF FREQUENCY
NORTH / EAST / UP
0.80 1.00 1.40 1.20 0.70 0.00 -0.40 -0.70 -0.90
END OF FREQUENCY
END OF ANTENNA

```

## ФАЙЛ КООРДИНАТ СТАНЦИИ

Приложение TropoGNSS использует внутренний формат файла, в котором должны

предоставляться координаты станции. Он имеет вид:

yy mm dd

X; Y; Z;

Vx; Vy; Vz;

B; L; H;

h;

Где yy – год, mm – месяц, dd – день к которым относятся координаты станции. X, Y, Z - геоцентрические координаты (в метрах), Vx, Vy, Vz – геоцентрические скорости (в метрах за год), B, L, H – геодезические широта, долгота (в градусах) и высота (в метрах), h – ортометрическая высота (в метрах).

Все эти параметры для конкретной станции должны определяться специальными геодезическими методами.

## ФАЙЛ КАЛИБРОВКИ АНТЕННЫ ПРИЕМНИКА

Калибровки зависят от используемого типа антенны. На странице ANTCAL Службы NGS можно скачать соответствующий файл для используемой антенны в формате ANTINFO:

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

### ФАЙЛ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПРИЛИВОВ

Файл океанических приливов в формате BLQ можно запросить, воспользовавшись web-

сервисом Ocean Tide Loading Provider:

<http://froste.oso.chalmers.se/loading>

Сервис организован так, что пользователю необходимо указать координаты станции, для

которой на указанный почтовый ящик будет выслан файл BLQ-формата. Пример

заполнения web-формы приведен ниже (KSU – имя станции, 49.1... - долгота, 55.7... -

широта, ниже обязательно ставим точку):

В форму запроса BLQ-файла входят еще ряд вопросов – необходимо оставлять значения

ответов на них без изменений.

### РАБОТА С ПРИЛОЖЕНИЕМ

Приложение запускается через bat-файл. После выполнения ряда операций появится

запрос ввести t0:

t0 – это момент времени, отсчитываемый от начала дня, к которому относится некоторое

исходное значение ZTD. Например, если известно значение ZTD в 23:55:00 предыдущего

дня, то надо задать  $t_0 = -300$ . Если вообще не известно никаких предварительных значений

ZTD, то нужно задать  $t_0 = 0$ . Далее нажимаем ENTER.

Далее потребуется аналогично ввести само начальное значение ZTD0 и его

среднеквадратическое отклонение SZTD0 (обе величины вводить в мм):

Если никаких начальных значений ZTD не известно, то можно задать ZTD0 = 2300, а его

среднеквадратическое отклонение 50 мм (или больше). В этом случае полученные значения ZTD в тренде за приблизительно первые час-два будут недостаточно точными (этот период надо рассматривать как время инициализации).

#### ФАЙЛ РЕЗУЛЬТАТА

Файл результата имеет вид:

11 6 15 0 5 0.0000 000;	2485.8335;	9.795
11 6 15 0 10 0.0000000;	2484.7512;	9.777
11 6 15 0 15 0.0000000;	2485.4328;	9.352
11 6 15 0 20 0.0000000;	2485.8305;	9.207
11 6 15 0 25 0.0000000;	2486.7449;	9.176

.....

где первая колонка – эпоха, к которой относиться оценка ZTD. Вторая колонка – сама оценка ZTD в мм. Третья колонка – среднеквадратическое отклонение ZTD в мм

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Задания практикума .....	6
Задание № 1 .....	6
Задание № 2 .....	6
Задание № 3 .....	7
Задание № 4 .....	8
Задание № 5 .....	9
Задание № 6 .....	9
Задание № 7 .....	10
Задание № 8 .....	10
Приложения. Программно-аппаратный комплекс мониторинга атмосферы .....	12
Приложение 1. Наземный GPS/ГЛОНАСС приемник фирмы NovAtel OMV-3 .....	12
Приложение 2. Необходимые команды и сообщения приемника ...	19
Приложение 3 Сообщения приемника .....	22
Приложение 4 Запись измерений в файл .....	29
Приложение 5 Преобразование данных из двоичного формата.....	30
Приложение 6 Формат RINEX .....	31
Приложение 7 Файлы орбит спутников .....	32
Приложение 8. Визуализация и обработка измерений .....	34
Приложение 9 Краткое руководство к приложению TropoGNSS ...	40