

Санкт-Петербургский государственный университет

Д.А. Трофимов, С.Д. Петров

**Определение координат
РСДБ-станций с помощью пакета
ОССАМ**

Санкт-Петербург
2023

Рецензенты: кандидат физ.-мат. наук, Е.А. Скурихина (ИПА РАН)
кандидат физ.-мат. наук, А.С. Цветков (СПбГУ)

*Печатается по постановлению
Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и
специальностей 03.00.00 «Физика и астрономия».*

Трофимов Д.А., Петров С.Д.

Определение координат РСДБ-станций с помощью пакета ОССАМ:
Учебное пособие — СПб, 2023. — 21 с.

Пособие предназначено для первичного ознакомления студентов астрономического отделения математико-механического факультета СПбГУ с возможностями о определению координат пунктов из РСДБ наблюдений с помощью пакета ОССАМ версии 6.3. Дано краткое описание пакета, приведен пример обработки.

© Д.А. Трофимов, С.Д. Петров

© С.-Петербургский гос. университет, 2023

Оглавление

1	Введение	2
2	Пакет OCCAM	4
2.1	Описание пакета OCCAM	4
2.1.1	DTAU0	5
2.1.2	PN	6
2.1.3	STATION	7
2.1.4	GEOMET	9
2.1.5	COLL_PRI	10
2.1.6	COLL_SEC	11
2.1.7	Выходные файлы	11
2.2	Подготовка пакета OCCAM к работе	12
3	Выполнение работы	13
3.1	Наблюдательные данные, их подготовка к работе	13
3.2	Получение координат пунктов	14
3.3	Рекомендации по подготовке отчёта о работе	20
	Литература	21

Глава 1

Введение

Астрометрия — наука, раздел астрономии, одной из основных задач которой является создание и поддержание систем координат и систем отсчета на небе и на Земле, а также постоянный мониторинг их взаимной ориентации. На нынешнем этапе развития данной науки, на фундаментальном уровне данные задачи решаются с помощью методов радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ, в англоязычной литературе VLBI). На основе РСДБ наблюдений построены каталоги ICRF, ICRF2, ICRF3, с 1997 года последовательно реализующие международную небесную систему координат ICRS. На нынешнем этапе РСДБ является основой фундаментального координатно-временного обеспечения (КВО).

Наиболее известными применениями РСДБ является определение точных координат внегалактических радиоисточников, определение параметров ориентации Земли (ПОЗ, в англоязычной литературе EOP). Так же некоторые наблюдения на РСДБ используются для синтеза изображений радиоисточников, анализа их структуры. В тоже время, определение координат наблюдательных пунктов РСДБ остается на периферии внимания, даже у специалистов, как правило основная масса определений координат пунктов, входящих в ITRF выполняется с помощью наблюдений навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Однако ГНСС не определяют небесную систему отсчета, современная небесная система отсчета задается каталогом радиоисточников наблюдаемых средствами РСДБ, таким образом, только зная координаты пунктов РСДБ можно определить параметры связи небесной и земной систем координат.

Также стоит отметить, об историческом значении данной технологии определения координат. Первые непосредственные измерения скоростей континентального дрейфа были выполнены именно с помощью РСДБ в 1980-е годы.

Таким образом, студент-астрометрист должен иметь представление

о том, как подобные координаты могут быть получены. Данное пособие предназначено для студентов астрономического отделения, имеющих представление об РСДБ в рамках курсов Астрометрии, Радиointерферометрии и Радиоастрометрии. Выполнение данной работы предусмотрено в контакте с преподавателем, так как формализация процесса выбора параметров точно не определена, и зависит от опыта обработчика. Вследствие этого часть проблем, возникающих в ходе выполнения работы, скорее всего обучающимся не смогут быть самостоятельно разрешены, их разрешение потребует помощи преподавателя, имеющего опыт обработки данных измерений с помощью пакета ОССАМ 6.3. В силу того, обучающийся уже прослушал вышеупомянутые курсы, в пособии мы не рассматриваем теоретические основы РСДБ, первичной и вторичной обработки наблюдений. Однако, напомним литературу, в которой можно найти информацию по данному вопросу, это учебник Жарова В.Е. [1], рекомендованная процедура получения задержки описана в IERS Conventions 2010 [2], математические основы обобщенного метода наименьших квадратов описаны в монографии Губанова В.С. [3] и пособии Титова О.А. [4].

Глава 2

Пакет ОССАМ

2.1 Описание пакета ОССАМ

Пакет ОССАМ предназначен для вторичной обработки РСДБ наблюдений, то есть получения астрометрической и иной информации из временной задержки сигнала τ . Пакет состоит из нескольких исполняемых файлов, которые реализуют различные этапы вторичной обработки РСДБ наблюдений (вычисление геометрической задержки τ_g , преобразование между земной и небесной системами координат, внесение поправок в координаты станций и т. д.). Для обработки РСДБ наблюдений необходимо последовательно запустить в определённом порядке данные программы с нужными настройками. Передача информации между исполняемыми модулями пакета осуществляется с помощью служебных файлов прямого доступа. Пакет в состоянии обрабатывать наблюдения в формате NGS, наблюдения сохраненные в других форматах должны быть конвертированы в NGS. Мы даем краткое описание пакета ОССАМ версии 6.3, так же рекомендуем ознакомиться с руководством пользователя для предыдущей версии 6.2 [5], основные настройки, форматы данных не изменились, основное отличие с точки зрения пользователя состоит в прекращении поддержки метода фильтрации Калмана в новой версии программного пакета. Данный программный пакет не имеет графического интерфейса, работа с ним производится из командной строки или путём формирования скриптов. Настройки программ, входящих в данный пакет осуществляются с помощью текстовых файлов, подаваемых на вход программы.

ОССАМ версии 6.3 имеет следующие исполняемые программы: DTAU0, PN, STATION, GEOMET, COLL_PRI и COLL_SEC. Рассмотрим предназначение каждой программы.

2.1.1 DTAU0

Данная программа читает NGS файл с наблюдениями и преобразует данные, содержащиеся в нём, во внутренний бинарный формат, понимаемый пакетом OCCAM, после чего записывает эту информацию в файлы прямого доступа (SORTIM, STATIM, BASTIM, WATCH, DISTIO и STACAT), с которыми потом работают остальные программы. При запуске данная программа запросит следующую информацию:

1. Название эксперимента (наблюдений) (8 символов). Данный параметр ключ для эксперимента, который можно использовать при резервном копировании файлов и т. д. Можно использовать название связанное с датой и типом эксперимента, например, IRISA570.
2. Используемый каталог (12 символов). Необходимо указать имя каталога для исходных координат радиоисточников и координат станции.
3. Имя файла данных (12 символов). Необходимо ввести имя файла с наблюдательными данными в формате NGS.
4. На следующем шаге вас спросят, должен ли OCCAM автоматически создавать файлы *.OPT. По умолчанию Y означает «да», но необходимо понимать, что это не обязательно оптимальный выбор для каждого отдельного сеанса. Если будет выбрано Y, то необходимо задать программе ответы на следующие вопросы ниже (5, 6, 7), если в качестве ответа будет выбрано N, вопросов больше не будет, и следующий вопрос будет 8.
5. Программа показывает список существующих станций и спрашивает, какую из них взять за опорную. Если ничего не ввести, выбирается первая указанная станция.
6. Следующий пункт «оценить градиенты атмосферы?» действителен только для итоговой обработки с фильтром Калмана.
7. Следующий вопрос «24-часовой или интенсивный 2-часовой эксперимент?» (24/02), необходимо указать, какой тип сеанса необходимо проанализировать. Интенсивные 2-х часовые сессии проводятся с целью определения только поправки UT1-UTC.
8. Программа может автоматически генерировать файл EPHEM.DAT, который будет впоследствии использоваться программой PN. Для этого пользователь должен указать путь для поиска эфемерид и файлов с ПВЗ. Рекомендуется использовать путь OCCAM6_3\EPHEM.

При запуске можно вводить все эти данные для настройки вручную, но это неудобно, лучше использовать текстовые файлы с настройками, которые подаются на вход для данной программы. Приведем пример подобного файла.

```
current
vtrf2005.cat
current.ngs
```

N

Видно, что наблюдению присвоено название `current`, каталог с координатами радиостанций и станций содержится в файле `vtrf2005.cat`, наблюдательные данные считываются из файла `current.ngs`, `opt`-файлы автоматически не создаются, путь для эфемеридных данных не указан, файл с эфемеридными данными не формируется автоматически, а используется заранее подготовленный.

2.1.2 PN

С помощью данной программы производится переход от Земной системы координат к Небесной системе координат для РСДБ-станций на момент наблюдения. Векторы положения станций поворачиваются за счет нескольких матриц учитывающих движению полюса, нутацию и прецессию.

Данные по ПОЗ и эфемеридам для Солнца, Земли и Луны считываются из файла с именем `EPHEM.DAT` и интерполируются к эпохе каждого наблюдения.

Данная программа запрашивает информацию о том, как учитывать эффект океанических приливов в `UT1`, какую модель нутации следует использовать.

Во время выполнения этой программы вы можете отключить несколько моделей, которые применяются в этой программе. Отображается следующее меню:

```
DEFAULT MODELS WILL BE APPLIED FOR:  
A. - SHORT PERIOD UT1 VARIATIONS  
B. - EFFECT OF OCEANIC TIDES ON UT1 AND POLAR MOTION  
DO YOU WANT TO CHANGE THIS (Y, (N), Q TO QUIT)?
```

На этом шаге вы можете отключить любую из них. По умолчанию применяются обе модели. Следующим шагом будет более подробный вопрос о модели влияния океанических приливов на `UT1` и движение полюсов (если ранее был выбран вариант модели B):

```
CHOOSE MODEL TO BE APPLIED FOR:  
A. - RAY MODEL - IERS 96 CONVENTIONS  
B. - EANES MODEL - IERS 2000 CONVENTIONS - (ON DEFAULT)
```

По умолчанию в ОССАМ используется значение B. Оба варианта A и B используют схему лагранжевой интерполяции для ПОЗ, как это рекомендовано IERS. Следующим пунктом пользователю придется выбрать априорную модель нутации:

- A. - IAU 1980 NUT.MODEL ?
(ON DEFAULT)
B. - MBH_2000 MODEL ?

По умолчанию — A. Самая точная модель должна быть MBH_2000. Следующим пунктом является выбор применяемых моделей для короткопериодических вариаций UT1 (если вариант A выбран на самом первом шаге этой программы):

FOR THE TIDAL UT1 VARIATIONS YOU CAN CHOOSE BETWEEN:
A. - IERS-STANDARDS (1989) (UT1-UT1R SHORT PERIOD < 35 DAYS)
B. - IERS-CONVENTIONS (1992) (UT1-UT1S SHORT AND LONG PERIODS)
SELECT YOUR PREFERENCE

Для хорошей интерполяции UT1 нам необходимо вычесть краткосрочные вариации с периодами менее 35 дней. По умолчанию в OCCAM используется значение A. Моделирование ряда UT1 выглядит следующим образом и состоит из трех шагов:

1. Вычитание краткосрочных (< 35 дней) компонент
2. Интерполяция
3. Восстановление краткосрочных (<35 дней) компонент

Рассмотрим пример файла с настройками для данной программы:

```
N
B   <- Eanes model
A   <- IAU_1980 Model
A   <- Tidal UT1 variations variations
A   <- Direct call of the DELE405 ephemerides
A   <- Lagrange interpolation
A   <- Lagrange interpolation
```

здесь ответ N в первой строке означает, что настройки по умолчанию не изменяются, для остальных пунктов мы также оставили значения по умолчанию.

2.1.3 STATION

Эта программа вычисляет поправки, определяемые координатами станции, и помещает данные поправки в файл STATIM для последующего использования другими модулями программного пакета. Всего определяются следующие поправки:

1. Исправления координат станций каталога из-за земных приливов.
2. Дополнительные поправки, связанные с деформациями антенны,

океанской нагрузкой, атмосферной нагрузкой, непреливной океанской нагрузкой, а также вековым полярным приливом (можно отменить выбор).

3. Вклад смещения оси антенны в задержки и скорости.

4. Модели тропосферы: NMF, GMF, IMF, VMF1, априорные гидростатические градиенты.

5. Горизонтальные координаты радиисточника (азимут, высота часовой угол).

6. Частные производные задержки по станции, координатам источника, параметрам нутации и ПОЗ.

Модель твердотельных земных приливов, используемая в OCCAM 6.2, представляет собой модель рекомендованную IERS CONVENTIONS 2003 г., за исключением части для постоянной коррекции приливов. В соответствии с общепринятым подходом, который отличается от официальных рекомендаций IERS, часть постоянной коррекции приливов не активировалась. Таким образом, опорной поверхностью OCCAM на Земле является искусственная поверхность, используемая почти всеми известными программами космической геодезии.

Для применения поправок на нагрузку океана программе необходим внешний файл с амплитудами и аргументами основных приливных гармоник модели. Этот файл должен называться "LOADING.OCE" и при установке пакета в вашу рабочую директорию копируется с реальными данными для всех РСДБ-станций.

Программа позволяет пользователю выбрать, следует ли пренебречь какой-либо коррекцией координат станции. По умолчанию включены все исправления, но пользователь может по своему желанию отключить до семи моделей:

```
BY DEFAULT ALL CORRECTIONS WILL BE ADDED TO THE DATA BASES. DO  
YOU WANT TO CHANGE THIS?
```

Ответив Да, вы получите следующее сообщение:

```
THIS CORRECTIONS ARE APPLIED...  
A. ANTENNA DEF. B. OCEAN LOAD. C. ATMOS. LOAD. D. POLE TIDE  
E. SNOW LOADING F. SOIL MOISTURE G. OCEAN LOADING 1  
SELECT THE CORRECTIONS YOU WANT TO NEGLECT
```

И пользователь может выбрать, какие из этих моделей нужно отключить. После данного выбора последовательно производится выбор настроек, с помощью которых определяется, каким образом производится вычисление атмосферной задержки на станциях.

```
DO YOU WANT TO :
- REFINE APRIORI HYDROSTATIC ZD WITH MARINI (DEFAULT) => "Y"
- OR NOT (WHICH IS THE BERNESE WAY) => "N"
- or quit "Q"
```

```
DO YOU WANT TO :
- correct ZD due to tropospheric refraction (DEFAULT) => "Y"
- OR NOT => "N"
- or quit "Q"
```

```
DO YOU WANT TO :
- CALCULATE APR. ZD FROM MEAS. SURF. PRESS. (DEFAULT) => "Y"
- OR USE CONSTANT ZD FROM "hydr_zd_apriori.txt" => "N"
- or quit "Q"
```

```
DO YOU WANT TO :
- USE 0.0 AS APRIORI GRADIENTS (DEFAULT) => "Y"
- USE "gradients_apriori.txt" AS APRIORI GRADIENTS => "N"
- USE GRADIENTS FROM GRA_ALL => "G"
- or quit "Q"
```

Пример файла настроек для данной программы:

```
N <- No change to default corrections
Y <- Hydrostatic delay by Marini
Y <- Correction to zenith distance for refraction is implemented
Y <- Calculate apriori delay from surface meteoroparameters
Y <- Use zero apriori gradients
```

2.1.4 GEOMET

Эта программа вычисляет теоретические задержки и их погрешности для каждого наблюдения, включенного в исходный файл данных. Он учитывает геометрическую конфигурацию антенн и все релятивистские эффекты. Информация хранится в файле BASTIM.

Программа может использовать одну из следующих доступных моделей:

```
SELECT THE RELATIVISTIC MODEL TO BE APPLIED
A. - IERS - 1992 MODEL
B. - IAU - 1997 MODEL
Enter your selection ((A)/B)
(Q to quit)'/)
```

Модель по умолчанию — A из IERS Conventions (1992). Пользователь также может выбрать, применять ли коррекцию силы тяжести Земли к распространению света или нет. Вариант по умолчанию — применить его. Эта опция недоступна для модели IAU-1997. Он всегда применяет поправку на гравитацию Земли к распространению света, выбор которой нельзя отменить.

Пример файла настроек для данной программы:

A

2.1.5 COLL_PRI

Данная программа является частичной реализацией метода среднеквадратической коллокации. Метод среднеквадратической коллокации в пакете OCCAM реализован в двух программах COLL_PRI и COLL_SEC, которые могут работать как последовательно, так и независимо друг от друга. Метод коллокации реализованный в COLL_PRI предназначен для глобального анализа данных РСДБ. После обработки наблюдений данной программой могут быть получены.

1. Положения радиоисточников (оцениваются как глобальные параметры по всему диапазону данных)
2. Временной ряд суточных координат станций.
3. Суточный ПОЗ (углы нутации, компоненты полярного движения, UT1-UTC)
4. Внутрисуточные вариации ПОЗ с временным разрешением, соответствующим скорости выполнения РСДБ-наблюдений (одна точка в несколько минут).
5. Смещения часов, а также градиенты влажной задержки и влажной задержки с временным разрешением, которое соответствует скорости выполнения РСДБ-наблюдения (одна точка за несколько минут).
6. Остаточные невязки.

Пример файла с настройками для данной программы:

```
VM1 85. 0.003 70.00 NNRYES
163 199
```

Расшифруем файл настроек:

VM1 — означает использование Венских картирующих функций (Vienna Mapping Function VMF1);

85 — маска зенитного расстояния в градусах, все наблюдения объектов с большим зенитным расстоянием отсекаются, если поставить меньшее значение (80 или 70), то в зоне от выставленного расстояния до 85°, всем наблюдениям будет назначена дополнительная ошибка за рефракцию в

атмосфере;

0.003 — дополнительная ошибка (в метрах), добавляемая ко всем наблюдениям;

70 (или 90) — параметр, на основе которого определяются веса при перевзвешивании;

NNRYES — это означает, что на оценки координат телескопов накладывается условие no-net-rotation.

Вторая строка в данном файле "163 199" — это количество источников, определяемых как нестабильные и стабильные. Определяется используемыми опорными каталогами, на основе данных настроек производится выбор дополнительных каталожных файлов при работе программы.

2.1.6 COLL_SEC

Программа второго шага вычисляет среднесуточные параметры, остаточные невязки и т. д. В нашем случае нас интересует то, что в результате работы программы определяется интересующий нас параметр — среднесуточные координаты РСДБ-станций.

Настройки для данной программы такие же, как и для COLL_PRI.

2.1.7 Выходные файлы

Результаты обработки РСДБ-сессии программным пакетом OCCAM помещаются в выходные файлы. Ниже приведены соответствия между параметрами и файлами

Суточная статистика	STATIST.DAT
Суточная статистика для отдельных пунктов	WEIGHTS.DAT
Среднесуточные координаты источников в экваториальной системе координат	SOURCES.DAT
среднесуточные декартовы координаты станций	STATNAME.PAR
среднесуточные координаты станций в сферической системе координат	STATNAME.SPH
Среднесуточные значения ПОЗ (координаты полюса и поправка UT1-UTC)	EOP.DAT
Среднесуточные значения углов нутации ($\Delta\psi$ и $\Delta\epsilon$)	NUTATION.DAT
Высокочастотные ПОЗ для каждой эпохи наблюдений	EOP_VAR.DAT
Вспомогательные параметры для каждой станции	STATNAME.EPS

2.2 Подготовка пакета ОССАМ к работе

Для того, что бы пакет ОССАМ был способен обработать РСДБ наблюдения, одних наблюдений недостаточно. Пакет должен иметь доступ к дополнительной информации, используемой при обработке. Что относится к данной информации. Прежде всего каталоги положений радиоисточников и станций. В каталогах положений приведены координаты радиоисточников (на данный момент считается, что собственные движения внегалактических радиоисточников настолько малы, что их можно не учитывать). В каталогах координат станций приведены координаты станций на некоторую эпоху и скорости изменения этих координат. Так же одной станции может соответствовать несколько последовательных записей, так как после землетрясения координаты меняются скачкообразно, кроме того, могут немного измениться скорости. Файлы каталогов имеют расширение .CAT и находятся в папке WORK. В принципе, данная информация меняется редко, регулярное обновление данных файлов не требуется.

Регулярное обновление требуется для быстропеременной информации, которая оказывает влияние на изменение координат станций в земной и небесной системах отсчета. К такой информации относятся данные об атмосфере и ПОЗ. Атмосферная нагрузка влияет на вертикальную координату станций и полностью зависит от атмосферного давления в данном районе, таким образом, данные по этой нагрузке определяются на основе метеонаблюдений. Кроме того, на основе метеонаблюдений определяется картирующая функция, описывающая рефракцию радиоволн в тропосфере. Ионосферная задержка определяется на этапе корреляционной обработки.

Достаточно подробно подготовка пакета ОССАМ к работе описана в пособии [6].

Глава 3

Выполнение работы

Задача ставится руководителем практики. Она может заключаться в определении рядов координат какой-либо станции. Либо в сравнении рядов координат, полученных при разных настройках обработки, с целью определить значимость каких-либо настроек для получения координат.

3.1 Наблюдательные данные, их подготовка к работе

Для выполнения заданий необходимо выбрать наблюдательные данные. Результат первичной, корреляционной обработки РСДБ наблюдений находятся в публичном доступе, на серверах баз данных IVS. Существует три первичных базы данных IVS, содержимое которых идентично между собой и на которых размещаются как результаты первичной, так и результаты вторичной обработки. Это база информационной системы данных по динамике земной коры (Crustal Dynamics Data Information System – CDDIS) NASA, расположенная по адресу <https://cddis.nasa.gov/archive/vlbi/ivsdata/vgosdb> (для входа требуется регистрация), база Федерального агентства по картографии и геодезии ФРГ https://ivs.bkg.bund.de/data_dir/vlbi/ivsdata/vgosdb/ и база Парижской обсерватории <ftp://ivsopar.obspm.fr/vlbi/ivsdata/vgosdb>, последние две базы открыты для доступа без регистрации. Пакет OCCAM обрабатывает наблюдения в формате NGS. Старые наблюдения находятся в бинарном формате МКЗ, наблюдения после 2019 года хранятся в формате vgosdb. Перевод наблюдений в формат NGS производится с помощью приложения МКЗ2NGS, для перевода наблюдений vgosdb предлагается использовать конвертер VGOSdb2NGS, написанный на языке Python.

3.2 Получение координат пунктов

Как уже упоминалось выше, обработка РСДБ-наблюдений с помощью пакета OCCAM подразумевает запуск нескольких последовательных программ, с необходимыми настройками. Повторим последовательность запуска программ:

Запуск программы DTAU0

Запуск программы PN

Запуск программы STATION

Запуск программы GEOMET

Последней запускается программа COLL_PRI или COLL_SEC.

Как уже сказано выше, в OCCAM версии 6.3 убрана поддержка фильтра Калмана, вся астрометрическая информация получается методом среднеквадратической коллокации. Сам метод среднеквадратической коллокации разделен на две части, реализуемых программами COLL_PRI и COLL_SEC.

Для того, что бы понять, необходимо ли нам запускать программу COLL_PRI нужно посмотреть постановку задачи. Если в задачу входит улучшение координат источников, а потом получение координат станций на основе улучшенного каталога, то сначала необходимо запускать программу COLL_PRI. Если получение координат станций должно производиться на основе стандартного каталога, то можно сразу запускать программу COLL_SEC. Мы приведем пример, когда запускается сначала COLL_PRI. Процедура подбора файла collocat.opt для COLL_PRI и COLL_SEC не отличается, в случае если запускается COLL_SEC, то все, что описано для COLL_PRI, производится и для него.

Скрипт запуска выглядит следующим образом.

```
echo off
clear
rm statim
rm sortim
rm stacat
rm bastim
rm batch
rm dictio
rm meteor
rm breaks.res
cp d:\ivsdata\2010\100119\100119.ngs current.ngs
cp d:\ivsdata\2010\100119\collocat.opt collocat.opt
d:\occam_62\dtau0.exe < INPUT0_V.TXT
d:\occam_62\pn.exe < INPUT1_3.TXT
d:\occam_62\station.exe < INPUT2.TXT
d:\occam_62\geomt.exe < INPUT3.TXT
```



```
d:\occam_62\coll_pri.exe < INPUT7.TXT
```

Подробное описание результатов обработки в ходе первого шага можно прочитать в руководстве пользователя OCCAM [5]. Для наших целей необходимо обратить внимание на листинг программы COLL_PRI, в нём присутствует следующий блок:

```

      103 observations have been downweighted after LSM
WETTZELL  1375    5.6422    3.0788    33 observations downweighted
MATERA    1135    3.5598    2.7429     6 observations downweighted
NYALES20  1435    5.2046    3.1439    23 observations downweighted
TSUKUB32  1289    8.9167    5.0419    73 observations downweighted
WESTFORD  1239    4.3451    2.9712    19 observations downweighted
KOKEE     1020    7.3332    5.2593    41 observations downweighted
TIGOCONC   265    6.8753    6.5196    11 observations downweighted
The number of sources in the session is 56;      5 - Arc      51 - Global

```

в котором указывается количество наблюдений, которым были переназначены веса. На данном этапе необходимо подобрать такой opt-файл, при котором количество перевзвешенных наблюдений будет минимально (желательно равно 0). В качестве первоначального приближения opt-файла используется файл вида:

```

NO. STATIONS  7
WETTZELL     0.000
MATERA       0.000
NYALES20     0.000
TSUKUB32     0.000
WESTFORD     0.000
KOKEE        0.000
TIGOCONC     0.000

```

Указывается количество станций, используемых в обработке наблюдений, сами эти станции, и добавочные погрешности к априорным погрешностям для данных станций. Имеет смысл несколько подробнее указать физический смысл для априорной и добавочной погрешностей. Все параметры, которые мы получаем из обработки РСДБ наблюдений, получаются из анализа разностей "O" - "C". На основе имеющейся априорной информации о координатах станции, ПОЗ, об атмосферных нагрузках и т.д. мы можем предвычислить значение задержки, величину "O", которая в нашем случае обозначается как τ_c . На основе имеющейся априорной информации об антенне для каждой антенны мы можем определить некоторую априорную погрешность σ (её можно задавать как во временной мере в секундах или пикосекундах, так и в линейной, в метрах), в пределах которой должна находиться реальная наблюдаемая задержка. Однако в силу того,

что у нас в реальных наблюдениях возникают разные технические и вычислительные ошибки, они сказываются на корреляционной обработке наблюдений и задержка определяется с дополнительной ошибкой. Итоговое отклонение для определенной при корреляционной обработке задержки может отклоняться от предвычисленной на величину, большую чем априорная σ , данным наблюдениям необходимо назначить меньший вес. Программа, реализующая среднеквадратическую коллокацию переназначает веса для некоторых наблюдений, но данная процедура заточена только на то, чтобы убрать одиночные большие ошибки (одиночная ошибка – ошибка на одной задержке). Изначально предполагается гауссовское распределение ошибок, переназначаются веса для наблюдений, которые выходят за крылья гауссианы. Процедура перевзвешивания рассчитана на нормальное распределение ошибок и небольшие отклонения от него, она не может переназначить веса на тот случай, когда на какой-то станции возникают дополнительные ошибки в силу каких либо причин (нагрев приемной аппаратуры, структура источника может влиять на ошибку на наблюдениях на больших базах, но не влиять на наблюдения на коротких базах), в таком случае дополнительная σ должна быть подобрана в ручную.

Задачей обработчика является подобрать такие значения добавочной погрешности, при которых количество перевзвешенных наблюдений было бы минимально (желательно равно 0). В таком случае у нас будут минимальные погрешности определения координат РСДБ-станций. Подбор наиболее приемлемых добавочных σ производится вручную, данная величина задается в метрах, то есть 0.001 – 0.001 м, или 1 мм. Необходимо подобрать добавочные σ в пределах 0.020-0.030 м, которые обеспечивают минимальное количество перевзвешиваний при обработке. Имеет смысл данный подбор выполнять итеративно, в несколько шагов. Для начала выставить добавочную σ в пределах 0.005-0.010 для станции, показывающей наибольшее количество перевзвешиваний. После запуска необходимо оценить, насколько упало количество перевзвешиваний для станции, которой была назначена добавочная σ . Если количество перевзвешиваний для данной станции остается максимальным, необходимо попробовать увеличить добавочную σ . Если количество перевзвешиваний стало максимальным для другой станции, необходимо назначить ненулевую добавочную σ для этой станции. Также, при назначении добавочных σ необходимо обращать внимание на информацию, содержащуюся в LOG файле РСДБ сессии. Там присутствует блок информации о станциях, на которых предполагается наличие проблем, по результатам первичной, корреляционной обработки. Это необходимо, так как перевзвешиваются не станции, а наблюдения, единичным наблюдением является получение задержки на баз из двух станций. Таким образом, в случае, если из-за проблем на одной станции, производится

перезвешивание данного наблюдения, то в листинге программы будет указано перезвешивание для двух станций. Назначать добавочную σ обеим станциям излишне. Имеет смысл назначить добавочную σ той станции, для которой в LOG файле указаны какие-то проблемы. Опыт работы показывает, что в результате нескольких (5-7) итераций возможно подобрать такие значения добавочных σ , которые обеспечивают нулевое (или близкое к нему) количество перезвешиваний и минимальные среднеквадратические ошибки для полученных декартовых координат РСДБ-станций.

Так же необходимо учитывать тот момент, что на какой-либо из станций может произойти скачок часов. Данная проблема как правило указывается в LOG файле РСДБ сессии. Так же свидетельством о том, что перезвешивания наблюдений вызваны этой причиной может служить то, что в листинге вывода у одной из станций количество перезвешиваний может совпадать или быть близким с общим количеством перезвешенных наблюдений. То есть в каждом (или почти каждом) перезвешенном наблюдении присутствует эта станция. Для исправления этой проблемы необходимо сформировать текстовый файл с названием `breaks.res`. Содержание файла следующее:

```
N 000
```

где N — порядковый номер станции, на которой произошел скачок часов, в NGS-файле с наблюдениями, 000 — номер наблюдения, на котором произошло перезвешивание. После данной записи должен быть произведен перевод строки. Если скачков несколько, то должно быть несколько таких последовательных записей, каждая на новой строке. Имеет смысл размещать файл `breaks.res` в директории с наблюдениями, из которой он будет копироваться в рабочую директорию пакета OCCAM при работе скрипта.

```
echo off
clear
rm statim
rm sortim
rm stacat
rm bastim
rm batch
rm dictio
rm meteor
rm breaks.res
cp d:\ivsdata\2010\100119\100119.ngs current.ngs
cp d:\ivsdata\2010\100119\collocat.opt collocat.opt
cp d:\ivsdata\2010\100119\breaks.res breaks.res
d:\occam_62\dtau0.exe < INPUT0_V.TXT
d:\occam_62\pn.exe < INPUT1_3.TXT
```

```
d:\occam_62\station.exe < INPUT2.TXT
d:\occam_62\geomet.exe < INPUT3.TXT
d:\occam_62\coll_pri.exe < INPUT7.TXT
rm breaks.res
```

После работы данный файл следует удалить. Если этого не сделать, например при запуске скрипта, обрабатывающего большое количество наблюдений, то последующие наблюдения будут обрабатываться с учетом, что на станции с соответствующим номером произошел скачок часов, в то время как реально такого скачка не было, что приведет к некорректным результатам. В случае нашего наблюдения, обрабатываемого в данном примере, скачка часов нет, и нет потребности в файле breaks.res. Для нашей РСДБ-сессии в результате был подобран следующий OPT-файл.

```
NO. STATIONS  7
WETTZELL    0.010
MATERA      0.000
NYALES20    0.005
TSUKUB32    0.020
WESTFORD    0.010
KOKEE       0.010
TIGOCONC    0.000
```

При обработке с подобным OPT файлом мы получаем следующие данные по перевзвешиваниям:

```
0 observations have been downweighted after LSM
WETTZELL    1375    1.9081    2.7164    0 observations downweighted
MATERA      1135    2.0756    2.6749    0 observations downweighted
NYALES20    1435    1.9502    2.6051    0 observations downweighted
TSUKUB32    1289    2.4466    5.5589    0 observations downweighted
WESTFORD    1239    1.9108    2.9959    0 observations downweighted
KOKEE       1020    2.8544    5.0149    0 observations downweighted
TIGOCONC    265     4.2539    6.4423    0 observations downweighted
The number of sources in the session is 56;    5 - Arc    51 - Global
```

Получив подобный результат, мы можем запускать вторую часть среднеквадратической коллокации, реализуемую в программе COLL_SEC

```
echo off
clear
rm statim
rm sortim
rm stacat
rm bastim
rm batch
rm dictio
```

```

rm meteor
rm breaks.res
cp d:\ivsdata\2010\100119\100119.ngs current.ngs
cp d:\ivsdata\2010\100119\collocat.opt collocat.opt
d:\occam_62\dtau0.exe < INPUT0_V.TXT
d:\occam_62\pn.exe < INPUT1_3.TXT
d:\occam_62\station.exe < INPUT2.TXT
d:\occam_62\geomet.exe < INPUT3.TXT
d:\occam_62\coll_sec.exe < INPUT7.TXT

```

Листинг второй части среднеквадратической коллокации в части количества перевзвешенных наблюдений выглядит аналогично первой части:

```

***** WARNING: File "BREAKS.RES"    not present
The number of observations is =      3879
           65           75           3885
IER =                0
schi =    2.3122279287034337      sw =    3.4775751576137313
           0 observations have been downweighted after LSM
WETZELL    1375    1.9081    2.7164    0 observations downweighted
MATERA     1135    2.0756    2.6749    0 observations downweighted
NYALES20   1435    1.9502    2.6051    0 observations downweighted
TSUKUB32   1289    2.4466    5.5589    0 observations downweighted
WESTFORD   1239    1.9108    2.9959    0 observations downweighted
KOKEE      1020    2.8544    5.0149    0 observations downweighted
TIGOCONC   265    4.2539    6.4423    0 observations downweighted
The number of sources in the session is 56;    5 - Arc    51 - Global
LARGE MATRIX IS BEING INVERTED !
LARGE MATRIX HAS BEEN INVERTED ! IER1 =    0
IER2 =                0
chi =    581.12958802874209      chisq =    781.44998506966328
chi1 =    0.39085551102904048    chi2 =    0.45324220058899967

```

Координаты станций находятся в файлах, поименованных по типу STATNAME.PAR, где STATNAME — имя (идентификатор) РСДБ-станции. Приведем пример части содержимого данного файла для станции TIGOCONC.PAR

```
55201.20811 2010.01563 1492054.4327 -4887961.0487 -3803541.2806 0.0043 0.0097 0.0125
```

Здесь приведена информация по датам наблюдений (модифицированная юлианская дата и год с долей года), координаты X, Y, Z в ITRF и их погрешности (координаты и погрешности в метрах) Так же, в некоторых случаях, может быть полезна информация в файлах с расширением .SPH, в которых помещается информация о сферических координатах станций в формате радиальная составляющая в метрах, расстояние по дуге меридиана

от экватора в метрах и расстояние по дуге параллели от гринвичского меридиана в метрах, а так же погрешности данных величин. Приведем пример части содержимого TIGOCONC.SPH

```
55201.20811 2010.01563 6370660.5558 -4080774.0922 -6521304.5262 0.0151 0.0053 0.0037
```

Данный формат выбран для удобства визуализации, когда строятся графики локальных подвижек антенны.

3.3 Рекомендации по подготовке отчёта о работе

По результатам выполнения работы должен быть подготовлен отчет. Отчет пишется в произвольной форме, однако есть набор требований, которые к нему предъявляются.

1. Изложение постановки задачи.
2. Описание данных. То есть описывается, какие данные использовались для получения результатов, по каким программам производились наблюдения. Необходимо описание дополнительных данных (априорные ПОЗ, данные по нагрузочным эффектам, картирующие функции и т.д.).
3. Описание конкретных настроек обработки для различных модулей программы ОССАМ.
4. Описание процесса обработки. Среднее количество итоговых перевзвешиваний. Отметить, если перевзвешивания назначаются одним и тем же станциям, иные характерные особенности процесса, если на взгляд обучающегося такие особенности присутствуют, или же сказать, что никаких характерных особенностей не было.
5. Результаты обработки. Данный раздел должен содержать данные по координатам станций, указанных в постановке задачи в табличном виде, а так же графики. Так же, в случае соответствующей постановки задачи могут присутствовать графики баз радиointерферометра.
6. Краткий вывод.

Литература

- [1] Жаров В.Е. *Сферическая астрономия*. Фрязино, 2006.
- [2] Gérard Petit and Brian Luzum (eds.). *IERS Conventions (2010)*. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010
- [3] Губанов В.С. *Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрометрии*. Санкт-Петербург: Наука, 1997.
- [4] Титов О.А. *Математические методы обработки наблюдений*. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2001.
- [5] Titov O., Tesmer V., Boehm J. *OCCAM 6.2. User's guide*. URL: ftp://ftp.ga.gov.au/geodesy-outgoing/vlbi/software/OCCAM6_2/DOC/occam.pdf
- [6] В.В. Витязев, И.С. Гусева, В.И. Кияев, М.П. Мищенко, С.Д. Петров, О.А. Титов, А.С. Цветков *Небесные и земные координаты*. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2011.