РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

СКУРИХИНА Елена Анатольевна

Определение геодинамических параметров из долговременных рядов РСДБ наблюдений

Специальность 01.03.01
Астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2004

Общая характеристика работы

Диссертация написана на основе многолетнего опыта работы службы ПВЗ (параметров вращения Земли) ИПА РАН. Определение ПВЗ из радиоинтерферометрических (РСДБ) наблюдений является одной из важных составляющих работы этой службы. Для послекорреляционной обработки РСДБ наблюдений в рамках работы службы ПВЗ ИПА РАН используется пакет OCCAM. Это современный пакет, который является, наряду с CALC/SOLVE, одним из двух основных пакетов, используемых в мире для массовой обработки РСДБ наблюдений. Работа по его развитию ведется многими пользователями в разных странах. В ИПА РАН используется тщательно протестированная версия пакета, адаптированная для целей службы ПВЗ. Ряды ПВЗ, координат станций, длин баз и тропосферных параметров получены в результате обработки всех суточных сессий РСДБ наблюдений, начиная с 1979 года.

Актуальность темы диссертации

Координатно-временное обеспечение является одной из основных задач астрометрии. Требования к точности определения земной и небесной систем отсчета и связи между ними постоянно растут по мере развития прикладных и фундаментальных исследований в области различных областей астрономии, геодинамики, геофизики, а также для многих практических приложений в геодезии, космонавтике, изучении природных катаклизмов и в климатологии.

РСДБ наблюдения являются одним из основных методов установления небесной и земной систем отсчета и определения связи между ними посредством определения из наблюдений параметров вращения Земли. РСДБ является также одним из важнейших инструментов для геодинамических исследований, позволяющим непосредственно измерять деформации земной коры на различных уровнях – локальном, региональном и глобальном. Он позволяет измерять скорость дрейфа материковых плит.

Метод РСДБ является единственным из современных методов космической геодезии, позволяющим определять нутацию (т.е. ориентацию оси Земли в пространстве) и всемирное время, обеспечивая таким образом полный набор параметров вращения Земли. В плане установления земной системы координат РСДБ дает наиболее высокую точность на масштабе длинных баз, а также позволяет более надежно определять скорости станций, имеющих достаточно длительную историю наблюдений, поскольку регулярные РСДБ наблюдения ведутся с 1979 года.

Возросшие практические потребности ведут к повышению требований к точности и оперативности определения ПВЗ. Наиболее точные ряды ПВЗ получают в международной службе вращения Земли (IERS) из сводной обработки индивидуальных рядов ПВЗ, полученных в разных центрах анализа. Служба ПВЗ ИПА РАН является одним из таких центров, предоставляющим результаты как оперативного определения ПВЗ по мере поступления наблюдений, так и глобальные решения для международных служб, использующих эти данные для выведения сводных решений – IERS и IVS (Международная РСДБ служба). Поэтому анализ качества получаемых рядов ПВЗ и повышение их точности на основе совершенствования моделей редукции и технологии вторичной обработки РСДБ наблюдений находятся в центре внимания службы ПВЗ ИПА РАН.

В работе представлены долговременные ряды геодинамических параметров – ПВЗ, координат станций, длин баз и неравновесной составляющей тропосферной задержки в зените, представляющей большой интерес в климатологических исследованиях.

Временные ряды координат станций и длин баз позволяют проводить исследования движений земной коры на разных масштабах, позволяя изучать как тектонические движения плит, так и смещения земной коры на региональном и локальном уровнях.

Цели работы

- Модификация пакета OCCAM с целью расширения его возможностей, увеличения точности и повышения уровня автоматизации обработки РСДБ наблюдений.

- Организация регулярных оперативных вычислений ПВЗ, координат станций, длин баз и тропосферных параметров в рамках работы службы ПВЗ ИПА РАН и международных служб IERS и IVS.

- Вычисление и исследование долговременных высокоточных рядов ПВЗ, координат станций, длин баз и тропосферных параметров из обработки всех суточных сессий РСДБ наблюдений, анализ их точности и изучение закономерностей в их изменениях.

- Уточнение координат станции “Светлое” из наблюдений по международным РСДБ программам IVS.

Научная новизна работы

- Впервые в отечественной практике получены длительные 24-летние высокоточные ряды ПВЗ, координат станций, длин баз и тропосферных параметров (задержка в зените, градиенты).

- Разработана новая версия пакета OCCAM, обладающая рядом преимуществ по сравнению с предыдущей.

- Предложена уточненная модель учета температурного расширения антенн.

- Исследовано влияние различных факторов на точность определения ПВЗ и координат станций (состав наблюдательной сети, модель редукции, состав определяемых параметров).

- Определены параметры линейного тренда и сезонной составляющей для неравновесной составляющей тропосферной задержки в зените, проведено сравнение со среднесуточными метеоданными.

- Определены скорости изменения длин баз. Для европейского региона проведено сравнение рядов длин баз, полученных из GPS и РСДБ данных на 6-летнем интервале наблюдений.

- Определены координаты станции "Светлое", наблюдения на которой по программам IVS начались в марте 2003 года.

Научная и практическая значимость работы

- Модифицированный пакет OCCAM применяется в регулярной работе службы ПВЗ ИПА РАН и полученные данные используются в работе международных служб IERS и IVS. Точность результатов находится на уровне лучших мировых центров анализа РСДБ наблюдений.

- Полученные долговременные ряды ПВЗ, координат станций, длин баз и тропосферных параметров служат важным материалом для различных геофизических исследований, изучения деформаций земной коры и климатологических исследований.

- Результаты исследования различных факторов, влияющих на точность получаемых данных позволяют исследовать источники систематических ошибок.

- Предложенная модель температурных деформаций РСДБ антенн позволяет более корректно производить учет этого эффекта.

- Методика и программы прогнозирования ПВЗ используются в регулярной работе службы ПВЗ ИПА РАН с 1996 г.

На защиту выносятся

- Результаты определения и анализа долговременных рядов ПВЗ.

- Результаты определения и анализа долговременных рядов координат и скоростей станций, длин баз и скоростей их изменения, а также тропосферных параметров.

- Результаты определения координат станции "Светлое" из РСДБ наблюдений.

- Результаты модернизации пакета OCCAM для участия в отечественных и международных службах ПВЗ – повышение уровня автоматизации вычислений, возможность обработки всех имеющихся РСДБ наблюдений, доработка модели учета температурных деформаций антенн, возможность оценивания тропосферных градиентов.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, представлялись на семинарах и Ученых советах ИПА РАН, на отечественных и международных конференциях: "Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики", Санкт-Петербург, 1996 г.; XXVII Всероссийская радиоастрономическая конференция, Санкт-Петербург, 1997 г.; "Радиоастрономия в космосе", Школа-семинар молодых радиоастрономов, Пущино, 1998 г.; IAU Coll. 178 "Polar Motion: Historical and Scientific Problems", Италия, 1999; IX Astronomical Data Analysis and Software Systems Conference, США, 1999; 1st IVS General Meeting, Германия, 2000; Астрометрия, небесная механика и геодинамика на пороге XXI века, Санкт-Петербург, 2000; Всероссийская астрономическая конференция, Санкт-Петербург, 2001 г.; 15th European VLBI Meeting, Испания, 2001; 2nd IVS General VLBI Meeting, Япония, 2002; EGU Meeting, Франция, 2002; OCCAM Workshop, Австрия, 2002; Journees 2003, Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from Milliarseconds to Microarcseconds, Санкт-Петербург, 2003; 3nd IVS General VLBI Meeting, Канада, 2004.

Публикации по теме диссертации и вклад автора:

Материалы диссертации опубликованы в 26 работах общим объемом 116 страниц, из которых 17 написаны совместно с другими авторами. В совместных работах [1–3] автору принадлежат результаты тестирования методов прогноза координат полюса и всемирного времени и выбор оптимальных параметров для комбинированной модели, а также участие в разработке матобеспечения. В работах [4, 11, 15, 20, 23] автором получены ряды ПВЗ, координат станций, длин баз и тропосферных параметров из обработки РСДБ наблюдений. В работе [12] автору принадлежит адаптация пакета OCCAM для участия в службе ПВЗ ИПА РАН. В работах [9,10,13] автору принадлежат результаты определения ПВЗ в разных режимах с пакетом OCCAM, анализ полученных данных производился совместно. В работах [16, 19, 22] автором вычислены ряды длин баз по данным РСДБ наблюдений. В работе [24] автор принимал участие в организации и обработке РСДБ наблюдений с участием станции "Светлое" и в работе по уточнению ее координат. В работе [25] автором вычислены ряды длин баз по РСДБ данным и влияния атмосферной нагрузки на изменение длин баз, проведен спектральный анализ результатов.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. Общий объем диссертации 127 страниц. Диссертация содержит 32 таблицы, 12 рисунков и список литературы из 100 названия.

Содержание диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, указаны научная новизна, научная и практическая значимость результатов работы, перечислены результаты, выносимые на защиту, приведены структура и содержание диссертации, указаны печатные работы, в которых опубликованы основные результаты и определена доля участия автора в совместных публикациях.

В **первой главе** содержится описание программ РСДБ наблюдений, проводившихся с 1979 года по настоящее время. Указаны цели, количество сессий и состав наблюдательных сетей для основных типов РСДБ программ. Приведена статистика наблюдений по годам и статистика наблюдений для станций.

Во **второй главе** приведено описание версии пакета OCCAM, использующейся в службе ПВЗ ИПА РАН. За шесть лет эксплуатации пакета в службе ПВЗ ИПА РАН в нем произведены значительные изменения с целью приведения его в соответствие с IERS Conventions (2003), другими современными моделями редукции, расширения его возможностей и удобства в работе, а также автоматизации вычислений. В настоящее время пакет позволяет производить обработку отдельных сессий РСДБ наблюдений с точностью на уровне других ведущих центров анализа. В частности, автором произведены следующие доработки пакета:

– изменение кода для обеспечения возможности обработки сессий с большим количеством наблюдений;

– возможность определения горизонтального градиента тропосферы;

– учет эксцентриситетов мобильных станций, что дает возможность обрабатывать наблюдения всех станций международной РСДБ сети;

– доработка модели учета температурной деформации антенн для корректного учета этого эффекта для всех типов антенных монтировок;

– автоматическое обновление каталога радиоисточников, что значительно упрощает обработку наблюдений при регулярно появляющихся новых источниках;

– другие многочисленные улучшения в пакете.

Модель температурных деформаций РСДБ антенн, рекомендованная IERS Conventions (2003), пригодна только для антенных монтировок экваториального и азимутального типа с пересекающимися осями. Эта модель была расширена для всех типов монтировок, включая горизонтальные и любые монтировки со смещением осей. Величина геометрический задержки сигнала из-за изменения размеров антенны вследствие температурных деформаций может быть записана следующим образом:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_0 + \frac{1}{c}\gamma_a(T_a - T_0)H_{off}\ , \qquad (1)$$

$$\Delta\tau_0 = \frac{1}{c}\Big[\gamma_f(T_f - T_0)(h_f \sin\varepsilon) + \gamma_a(T_a - T_0)(h_p \sin\varepsilon + h_v - F h_s)\Big]\ , \qquad (2)$$

где $\Delta\tau_0$ – общая для всех типов монтировок составляющая; F =0.9 - для первичного фокуса, F =1.8 - для вторичного фокуса, γ_a , γ_f – коэффициент температурного расширения для антенны и фундамента, h_f , h_p , h_s , h_v – высота фундамента, расстояние от фундамента до горизонтальной оси телескопа, расстояние от основания до контррефлектора антенны, расстояние от горизонтальной оси до основания зеркала антенны; T_0 – опорная температура (мы используем среднюю температуру для станции за все время наблюдений); T_a, T_f – температура антенны и фундамента (в настоящей версии принимаются равной температуре воздуха); H_{off} – проекция смещения осей телескопа в направлении на источник (эта величина вычисляется в соответствии с типом антенной монтировки). Результаты исследования влияния этого эффекта на результаты определения ПВЗ и координат станций приводятся в следующих главах.

Третья глава посвящена вычислению и анализу рядов ПВЗ, полученных в настоящей работе. Служба ПВЗ призвана решать две основные взаимосвязанные задачи. Первая из них – оперативные определения, необходимые, в основном, для практических применений. Здесь важны как точность, так и оперативность и надежность результата. Вторая – получение значений ПВЗ как можно более высокой точности в результате обработки длительных рядов всех имеющихся наблюдений. В ИПА РАН вычисляются пять типов ПВЗ: координаты полюса Xp, Yp, всемирное время UT1, нутация $\Delta\psi$, $\Delta\varepsilon$. ИПА РАН является одним из мировых центров анализа, регулярно предоставляющим данные по определению ПВЗ в IERS и IVS.

В качестве внешней оценки точности рядов ПВЗ обычно рассматривают величину среднеквадратичного отклонения вычисленных ПВЗ от ряда EOP(IERS)C04, который является основным продуктом IERS для изучения вращения Земли. В таблице 1 приведены оценки точности рядов ПВЗ, сделанные Центром Анализа РСДБ данных Парижской обсерватории.

Таблица 1. Точность рядов ПВЗ по оценкам Центра анализа IERS в Парижской обсерватории за последние 6 месяцев.

ПВЗ	AUS	BKG	GSF	IAA	SPU	USN	MAO
Xp, Yp, μas	140	175	125	101	176	116	164
UT1, μs	6	7	7	6	5	7	6
$\Delta\psi$, $\Delta\varepsilon$, μas	77	92	64	60	85	75	102

В таблицу включены: AUS – Центр наук о Земле Австралии, BKG – Федеральное агентство картографии и геодезии, Германия, GSFC - Годдардский центр космических полетов НАСА, США, IAA – ИПА РАН, SPU – Санкт-Петербургский университет, USN – Морская обсерватория США, MAO – Главная астрономическая обсерватория НАН Украины.

В таблице 2 приведены оценки точности результатов оперативных определений ПВЗ в трех центрах обработки, участвующих в работе службы оперативного вычисления ПВЗ IERS в USNO.

Таблица 2. Точность оперативных определений ПВЗ по оценкам Центра анализа IERS в USNO.

Центр	Xp, μas	Yp, μas	UT, 0.1 μs
GSFC	75	61	25
IAA	81	74	32
USNO	109	97	47

Для исследования возможных источников систематических ошибок результатов определения ПВЗ и оценки их точности проведен сравнительный анализ ПВЗ, вычисленных с разными пакетами, каталогами и на разных сетях станций, а также в разных режимах обработки. Результаты всех перечисленных вариантов сравнения приведены в таблице 3.

Таблица 3. Исследование системтических ошибок рядов ПВЗ.

Тест	X_p, μas	Y_p, μas	$UT1$, μs	$d\psi$, μas	$d\varepsilon$, μas
NEOS – CORE-A					
смещение	11±3	9±3	-1±1	20±15	15±16
wrms	278	235	13	145	144
опорная станция					
смещение	20±4	28±5	7±3	3±5	3±5
wrms	45	46	20	30	30
температурные деформации					
смещение	-2±4	-3±3	-2±1	-1 ±2	1±2
wrms	45	46	20	30	30
атмосферная нагрузка					
смещение	-5±5	-2±5	-2±1	0±2	1 ±2
wrms	104	90	10	70	63
тропосферный градиент					
смещение	-29±7	27±7	0 ±1	6±2	-7±2
wrms	182	162	12	66	64
интерполяция ПВЗ					
смещение	-11±4	5±3	0±1	-3±2	1 ±2
wrms	85	68	10	54	59

Многие исследователи отмечают систематические разницы в рядах ПВЗ, полученных на разных сетях РСДБ станций. Мы провели сравнение ПВЗ, полученных по программам NEOS-A и CORE-A для 80 сессий за период с 1997 по 2001 год (наблюдения по этим программам были организованы таким образом, что они производились одновременно на двух глобальных сетях, по 5-6 станций в каждой из них) которые показывали наличие систематической разности при обработке с помощью старой версии пакета OCCAM и пакета ЭРА в системе каталога станций ITRF97. При этом был обнаружены существенные систематические разности между результатами, полученными по программам NEOS-A и CORE-A [9,10].

Однако величина систематического сдвига оказывается практически незначимой при вычислениях с последней версией OCCAMа в системе каталога VTRF2003, полученного в Центре сводной обработки IVS (Геодезический институт Боннского университета). В ИПА РАН этот каталог был дополнен более точными координатами станций "Светлое" и GGAO (после ее перемещения на постоянный фундамент), и в настоящее время он используется для рабочих вычислений. Полученные результаты подтверждают предположение ряда авторов о том, что основная причина систематических различий между ПВЗ, полученных на разных сетях станций, заключается в ошибках опорной системы координат станций.

Исследование влияния выбора опорной станции на оценки ПВЗ проводилось для 83 сессий с одинаковым составом станций по программе NEOS-A а также для 14 сессий по программе CONT02. В этом тесте вычислялись ПВЗ с использованием каждой из станций в качестве опорных. Ряды разностей ПВЗ, вычисленных с разными опорными станциями, показывают значимые систематические различия для координат полюса.

Исследование влияния на оценки ПВЗ учета температурных деформаций антенн, а также вычисление ПВЗ с регрессионной и численной моделями атмосферной нагрузки было проведено для всех сессий с 1979 по 2003 год. Аналогичное исследование проводилось для изучения влияния учета тропосферного градиента и метода интерполяции априорного ряда ПВЗ для двух вариантов вычислений (интерполяции при помощи сплайнов и методом Лагранжа по трем точкам, рекомендованным IERS). Значимых трендов не обнаружено ни для одного из видов ПВЗ. В этих тестах мы обнаружили значимые систематические различия для рядов координат полюса, полученных с оцениванием и без оценивания тропосферных градиентов, хотя обычно изучается это влияние на координаты станций и длины баз. Видно, что наибольший разброс имеют разности ПВЗ, полученные по разным наблюдательным программам; также большая величина дисперсии у рядов разностей ПВЗ, вычисленных с учетом и без учета тропосферного градиента.

В **четвертой главе** приводятся результаты определения координат и скоростей станций и длин баз. Координаты станций и длины баз вычисляются для каждой сессии, и затем полученные временны́е ряды используются для определения скоростей и нерегулярных изменений в положении станций. Для каждой сессии фиксируются координаты и часы одной опорной станции. Поскольку состав участников сетей РСДБ станций непостоянен, практически невозможно фиксировать координаты одной и той же станции для всех сессий. Поэтому при обработке наблюдений приходится для каждой сессии выбирать некоторую "оптимальную" опорную станцию, учитывая качество наблюдений на каждой станции.

Особое внимание было уделено определению координат станции "Светлое", первой из российских станций РСДБ сети Квазар, начавшей регулярные РСДБ наблюдения по программам IVS. Координаты станции "Светлое" определены по данным наблюдений 10 сессий за период с марта по ноябрь 2003 года. При этом, для повышения точности, координаты вычислялись с разными опорными станциями с последующим усреднением. Результаты приведены в таблице 4 вместе с другими имеющимися определениями, также полученными по 10–11 сессиям.

Таблица 4. Координаты станции "Светлое" на эпоху 2003.30.

Центр анализа center	X, m	Y, m	Z, m
IAA	2730173.850	1562442.667	5529969.064
	±1	±1	±2
GSF	.849	.666	.063
	±1	±1	±2
MAO	.838	.670	.070
	±2	±1	±3

Как наглядный пример применения метода анализа изменений координат станций по отдельным сессиям для изучения деформаций земной коры рассмотрен временной ряд координат станции Gilmor Creek. Определено смещение станции Gilmor Creek и изменение ее скорости после землетрясения на Аляске 3 ноября 2002 года. Изменение координат станции приведено на рис. 1.

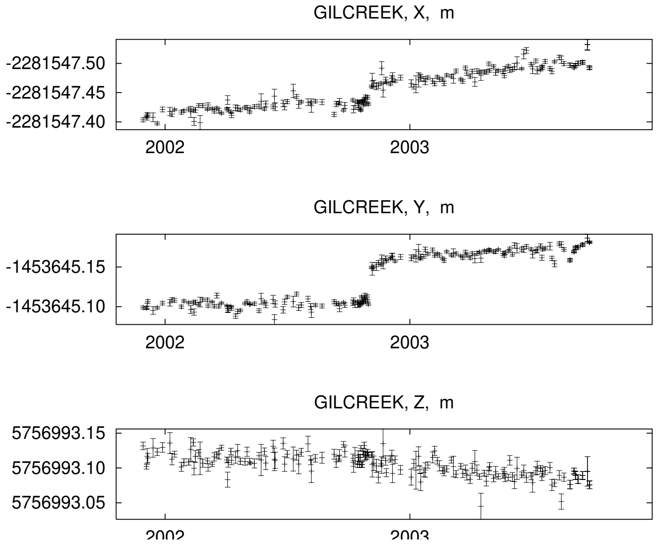

Рис. 1. Изменение координат станции Gilcreek вследствие землетрясения 3 ноября 2002 года.

Изменение координат и скорости станции после землетрясения составило (м, м/год):

X: 0.027 ± 0.002	ΔV_x: -0.010 ± 0.004
Y: 0.071 ± 0.001	ΔV_y: -0.022 ± 0.003
Z: 0.013 ± 0.003	ΔV_z: -0.021 ± 0.006

Полученные ряды координат станций в общем позволяют судить о поведении опорной точки радиотелескопа, изучать влияние сезонных эффектов и локальные деформации земной коры, но для более тщательного изучения и для более строгого подхода они нуждаются в дальнейшей переработке для исключения влияния выбора опорной станции. Проведенные тесты показали, что вычисляемые координаты станций действительно зависят от выбора опорной станции. Тем не менее, при достаточно длинных рядах наблюдений эффект выбора опорной станции и сезонные эффекты усредняется и в результате получаются достаточно надежные оценки координат и скоростей станций. Проведены исследования влияния учета тропосферного градиента и температурных деформаций антенн на оценки координат станций и длин баз. Показано, что эти эффекты проявляются в виде линейного тренда и сезонной составляющей в координатах станций и длинах баз на миллиметровом уровне точности.

Проведено сравнение длин баз для европейских сетей GPS и РСДБ станций. Для сравнения использовано 15 баз для всех 6 европейских станций: Wettzell, Medicina, Nyasezund, Noto, Matera и Onsala, имеющих долговременные ряды РСДБ и GPS наблюдений. Скорости изменения длин баз в основном хорошо согласуются для обоих методов, а амплитуды годовой и полугодовой гармоники заметно отличаются.

В 2004 г. начато представление координат станций, определенных по отдельным сессиям, в IVS для сводной обработки.

В **пятой главе** проводится анализ долговременных рядов неравновесной составляющей тропосферной задержки в зените. При моделировании РСДБ наблюдений вклад нейтральной атмосферы в общую геометрическую задержку является одним из самых больших источников ошибок. Общая задержка распространения радиоволн в нейтральной атмосфере обычно представляется как сумма равновесной компоненты (основная составляющая атмосферы, кислород и азот, находящиеся в состоянии гидростатического равновесия HZD - Hydrosatic Zenith Delay) и неравновесной компоненты, состоящей в основном из водяного пара и поэтому обычно называемой влажной составляющей WZD (Wet Zenith Delay). Общую задержку в нейтральной атмосфере представляют в виде суммы равновесной и неравновесной задержек в зените, умноженных на соответствующую картирующую функцию. Для учета несимметричности атмосферы в горизонтальных направлениях добавляют горизонтальный градиент. Отличия горизонтальных градиентов от модельных могут быть также оценены из анализа РСДБ наблюдений. Величина WZD плохо поддается моделированию и оценивается обычно как стохастический (методами фильтрации Калмана, среднеквадратической коллокации, среднеквадратичным информационным фильтром) или псевдостохастический параметр (в МНК анализе при моделировании кусочно-непрерывными полиномами или сплайнами).

В данном исследовании величина неравновесной составляющей тропосферной задержки оценивалась методом фильтрации Калмана с вычислением одного значения за сессию. Из обработки всех сессий получены временны́е ряды WZD для всех станций. Для станций с достаточно большим количеством наблюдений видно, что величина WTD изменяется с годовым периодом. Параметры линейного тренда и амплитуда сезонной составляющей ((A) для 20 станций с достаточно длинной наблюдательной историей приведены в таблице 5.

Таблица 5. Параметры рядов тропосферной задержки.

Станция	Число набл.	T_{beg} - T_{end}	Смещение, мм	Тренд, мм/год	A, мм	Фаза, градус	wrms, мм
WETTZELL	1584	1984.0 - 2003.8	89.5±1.5	0.1±0.2	39.6±1.6	277 ±2	35
GILCREEK	929	1984.5 - 2003.8	52.3±1.1	0.0±0.2	49.0±1.5	251 ±2	28
KOKEE	859	1993.4 - 2003.8	89.4±1.3	-0.3±0.4	17.6±1.9	238 ±6	35
WESTFORD	830	1981.3 - 2003.8	101.6±2.4	0.9±0.4	68.6±3.1	262 ±3	56
RICHMOND	646	1984.0 - 1992.6	212.0±2.3	2.8±1.0	73.8±3.3	229 ±3	57
FORTLEZA	622	1993.3 - 2003.8	255.9±1.7	-0.0±0.6	63.3±2.4	358 ±3	41
HRAS 085	480	1980.5 - 1990.8	94.4±2.5	-0.6±1.2	53.1±3.4	236 ±4	48
HARTRAO	459	1986.0 - 2003.8	86.4±2.4	3.6±0.5	54.2±3.3	82 ±4	42
MOJAVE12	447	1983.4 - 1992.6	67.6±2.3	-0.4±0.9	13.3±3.3	278 ±14	35
ALGOPARK	429	1992.4 - 2003.8	83.5±2.5	0.3±0.6	66.8±3.4	253 ±3	46
NRAO20	173	1995.1 - 2000.4	88.8±3.5	4.0±2.5	51.8±4.9	267 ±6	48
NRAO85 3	374	1989.2 - 1996.6	91.8±2.7	-4.6±1.4	58.6±3.7	247 ±4	52
MATERA	382	1990.7 - 2003.8	100.7±1.6	0.3±0.4	47.4±2.2	237 ±3	31
KAUAI	345	1987.5 - 1994.2	106.2±2.4	-6.5±1.3	17.6±3.3	223 ±10	84
ONSALA60	332	1980.5 - 2003.5	86.7±2.3	-0.7±0.3	37.9±3.3	322 ±5	38
NYALES20	328	1994.7 - 2003.7	42.6±1.2	1.1±0.5	29.6±1.7	250 ±4	21
HOBART26	251	1989.9 - 2003.8	93.1±3.8	-1.7±0.9	36.8±5.1	149 ±14	42
KASHIMA	185	1984.5 - 2002.4	129.7±8.0	-2.1±1.4	66.6±11.2	252 ±6	84
MEDICINA	142	1987.3 - 2003.3	115.4±3.7	-0.0±0.7	51.9±5.9	247 ±5	43
FD-VLBA	98	1992.0 - 2003.5	84.7±4.2	-0.2±1.2	80.8±5.5	262 ±6	38
TSUKUB32	86	1998.5 - 2003.8	167.5±22.0	-4.9±4.5	121.8±9.0	249 ±4	58
SANTIA12	87	1991.9 - 1996.9	65.1±6.7	-3.1±2.1	22.8±4.5	55 ±12	30
LA-VLBA	91	1991.4 - 2003.4	56.8±3.4	-1.3±1.0	34.4±4.2	256 ±8	29
SC-VLBA	84	1993.5 - 2003.5	215.7±5.3	-0.7±1.8	28.6±6.8	262 ±16	47

Данные об изменении тропосферной задержки представляют большой интерес для изучения общих закономерностей изменения состояния атмосферы и климатологических исследований. В 2004 г. предполагается начать представление результатов определения тропосферных параметров в IVS в рамках проекта по изучению этих проблем.

В **приложении 1** приводятся статистические данные о количестве РСДБ наблюдений и составе различных сетей РСДБ станций.

В **приложении 2** приведены сведения о РСДБ станциях, характеризующие географическое положение, геометрию антенн, а также их активность в процессе РСДБ наблюдений.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. *Malkin, Z., Skurikhina, E.* On Prediction of EOP. Communicaions of IAA, 1996, N 93, – 12 c.
2. *Малкин, З. М., Скурихина, Е. А.* О прогнозировании параметров вращения Земли. В кн.: Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики, Труды конф., СПб., 1996, 336–343.
3. *Малкин, З. М., Петров, Л. Ю., Финкельштейн, А. М., Воинов, А. В, Скурихина, Е. А.* Служба ПВЗ ИПА РАН. Труды ИПА РАН, 1997, вып. 1, 101–112.
4. *Титов, О. А., Скурихина, Е. А.* Оперативное определение ПВЗ по данным РСДБ наблюдений. В кн.: Проблемы современной радиоастрономии. XXVII радиоастрономической конференции, т. 2. СПб., 1997, 266–267.
5. *Скурихина, Е. А.* Оперативное определение ПВЗ по данным РСДБ наблюдений. Сборник тезисов "Радиоастрономия в космосе", Пущино, 1998, 35–36.
6. *Skurikhina, E.* Determination of EOP from VLBI in IAA. ASP Conf. Ser., v. 208, Polar Motion: Historical and Scientific Problems, Proc. IAU Coll. 178, Cagliari, Italy, 1999, 261–265.
7. *Скурихина, Е. А.* Определение ПВЗ из РСДБ наблюдений для службы ПВЗ ИПА РАН. Труды ИПА РАН, 1999, вып. 4, 5–11.
8. *Skurikhina, E.* EOP and station positions determined with OCCAM Package. In: IVS 2000 General Meeting Proceedings, Koetzting, Germany, 2000, 350–354.
9. *Sokolskaya, M., Skurikhina, E.* EOP determination with OCCAM and ERA Packages. In: IVS 2000 General Meeting Proceedings, Koetzting, Germany, 2000, 309–313.
10. *Сокольская, М. Ю., Скурихина, Е. А* Сравнение рядов ПВЗ, полученных по РСДБ наблюдениям. Труды ИПА РАН, 2000, вып. 5, 45–57.
11. *Malkin, Z., Skurikhina, E., Krasinsky, G., Gubanov, V., Surkis, I., Stotskii, A.* IAA VLBI Analysis Center Report for 1998–1999. In: IVS 1999 Annual Report, 1999, 209–212.

12. *Malkin, Z., Voinov, A., Skurikhina, E.* Software for Geodynamical Researches Used in the LSGER IAA. ASP Conf. Ser., v. 216, Astronomical Data Analysis Software and Systems IX, eds. N. Manset, C. Veillet, D. Crabtree, 2000, 632-635.

13. *Малкин, З. М., Скурихина, Е. А., Сокольская, М. Ю.* Сравнение рядов ПВЗ, полученных по программам NEOS-A и CORE-A с разными пакетами. В кн.: Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века, СПб.: ИПА РАН, 2000. 104–105.

14. *Скурихина, Е. А.* Определение ПВЗ и координат станций из РСДБ наблюдений. В кн.: Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века, СПб.: ИПА РАН, 2000, 112–113.

15. *Malkin, Z., Skurikhina, E., Sokolskaya, M., Krasinsky, G., Gubanov, V., Surkis, I., Kozlova, I., Rusinov, Yu.* IAA VLBI Analysis Center Report for 2000. In: 2000 IVS Annual Report, 2001, 232-235.

16. *Малкин, З. М., Панафидина, Н. А., Скурихина, Е. А.* Сравнение длин баз, полученных из GPS и VLBI наблюдений на европейской сети станций. В кн.: Всероссийская астрономическая конференция, С.-Петербург, 2001, Тезисы докладов, 119.

17. *Скурихина, Е. А.* Температурные деформации РСДБ антенн. В кн.: Всероссийская астрономическая конференция, С.-Петербург, 2001, Тезисы докладов, 162.

18. *Skurikhina, E.* On Computation of Antenna Thermal Deformation in VLBI Data Processing, Proceedings of the 15th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, 2001, Barselona, Spain, 116–121.

19. *Malkin, Z., Panafidina, N., Skurikhina, E.* Length Variations of European Baselines Derived from VLBI and GPS Observations Proceedings of the 15th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, 2001, Barselona, Spain, 124–130.

20. *Malkin, Z., Skurikhina, E., Sokolskaya, M., Krasinsky, G., Vasilyev, M., Gubanov, V., Surkis, I., Kozlova, I., Rusinov, Yu.* IAA VLBI Analysis Center Report 2001. In: IVS 2001 Annual Report, 2002, 220–223.

21. *Skurikhina, E.* Influence of Antenna Thermal Deformations on Estimation of Seasonal Variations in Baseline Length, In: IVS 2002 General Meetings Proceedings, 310–314.

22. *Malkin, Z., Panafidina, N., Skurikhina, E.* Variations of European Baseline Lengths Derived from VLBI and GPS Data. In: 2002 IVS General VLBI Meeting Proceedings, 2002, Tsukuba, Japan, 309.

23. *Malkin, Z., Skurikhina, E., Krasinsky, G., Gubanov, V., Kozlova, I., Rusinov Yu.* IAA VLBI Analysis Center Report 2002. In: IVS 2002 Annual Report, 2003, 265–268.

24. *Finkellstein, A., Grachev, V., Ipatov, A., Malkin, Z., Rahimov, I., Skurikhina, E., Smolentsev, S.* The first results of VLBI observations at the Svetloe observatory wihin the framework of the IVS observing programs, In: Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from Milliarseconds to Microarcseconds, 2003, St. Petersburg, 21.

25. *Panafidina, N., Skurikhina, E., Sokolova, Y.* Comparison of baseline time series from GPS and VLBI. In: Journees 2003, Book of Abstracts, Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from Milliarseconds to Microarcseconds, 2003, St. Petersburg, 52.

26. Skurikhina, E., Long time WTD series for some stations. In: IVS 2004 General Meeting Abstracts, 2004, 54.

Подписано к печати 19.01.2004. Формат $60 \times 90/16$. Офсетная печать.
Печ. л. 1 Уч.-изд. л. 1 Тираж 100 Заказ 17 бесплатно

Отпечатано в типографии “Август”
193148, С.-Петербург, ул. Крупской, д. 55

ИПА РАН, 191187, С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10