РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

ПАНАФИДИНА Наталья Александровна

Определение и анализ координат и скоростей станций по наблюдениям европейской GPS-сети

Специальность 01.03.01 - "Астрометрия и небесная механика"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2006

Работа выполнена в Институте прикладной астрономии РАН.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук З.М.Малкин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Ю.В.Батраков
доктор технических наук В.И.Кафтан

Ведущая организация:

Институт астрономии РАН

Защита состоится 22 мая 2006 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 002.067.01 в Институте прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН.

Автореферат разослан "____" апреля 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук З.М.Малкин

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации

Требования к точности определения земной системы отсчета постоянно растут по мере развития прикладных и фундаментальных исследований в различных областях астрономии, геодинамики, геофизики, а также для многих практических приложений в геодезии, космонавтике, изучении природных катаклизмов и в климатологии. Для обеспечения возможности сравнения различных результатов требуется общая система координат. В настоящее время принята международная земная система отсчета (ITRF). Она реализуется в виде координат и скоростей некоторого набора глобально распределенных станций. Наиболее точную реализацию этой системы предоставляет Международная служба вращения Земли и опорных систем координат (IERS). Она вычисляется как комбинация многих глобальных и региональных решений (Altamimi et al., 2002), полученных с помощью различных методов космической геодезии: РСДБ (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами), LLR и SLR (Lunar and Satellite Laser Ranging), GPS (Global Positioning System) и DORIS (Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite).

Так как для региональных и локальных исследований плотность станций глобальной сети оказывается недостаточной, для уплотнения сети и улучшения доступности международной земной системы координат организуются региональные сети. Европейская GPS-сеть (EPN – European Permanent Network; Bruyninx, 2004) была организована в 1995 г. и в настоящее время в ней участвует около 180 постоянно наблюдающих GPS-станций. Состав станций не оставался постоянным на всем промежутке времени наблюдений, некоторые станции прекратили свою работу. Всего за всю историю существования сети в ней участвовало около 210 станций. Европейская GPS-сеть координируется подкомиссией по европейской системе координат (EUREF) Международной ассоциации геодезии.

Наблюдения на сети EUREF предоставляют уникальную возможность изучения деформаций земной коры в Европе. Эти наблюдения централизовано собираются и обрабатываются центрами хранения данных и анализа EPN, после чего центр сводной обработки EPN выводит недельные решения и распространяет их в виде SINEX-файлов для свободного использования в научных исследованиях.

Однако анализ этих официальных недельных решений показывает наличие скачков и систематических сезонных ошибок, особенно заметных в составляющей по высоте. Эти эффекты вызываются применявшейся при вычислении сводного решения EPN до GPS-недели 1303 (декабрь 2004 г.) методикой обработки, при которой координаты некоторого набора опорных станций фиксировались к значениям координат соответствующей реализации ITRF. Ошибки координат и скоростей опорных станций, пекулярное движение станций, локальные движения земной коры и периодическая смена оборудования на некоторых из них могут приводить к ошибкам в координатах всех станций сети. Из-за последовательной смены опорной системы координат (в разные периоды использовались опорные системы ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000) в рядах координат станций сети наблюдаются значительные скачки, что делает невозможным использование официального решения для исследования движений станций на всем промежутке времени наблюдений.

Начиная с GPS-недели 1303 сводные решения вычисляются с использованием метода минимальных ограничений на координаты опорных станций. Этот метод дает возможность получить неискаженное решение для координат станций сети. Однако более ранние решения не были переобработаны для получения долговременного однородного ряда координат. Для геодинамических исследований некоторое время назад в рамках EUREF был организован специальный проект "Time Series Monitoring", основной задачей которого является получение однородных рядов координат станций европейской GPS-сети. К сожалению, результаты, полученные в рамках специального проекта, доступны только в графической форме на Интернет-сайте Центрального бюро EPN. Таким образом, получение независимых однородных рядов координат станций, доступных в виде SINEX-файлов и пригодных для дальнейших исследований, является актуальной задачей. Полученные однородные ряды координат станций позволяют получить надежные оценки скоростей станций в европейском регионе, а также оценить изменения длин баз между европейскими станциями, что представляет большой интерес для геодинамических исследований.

Цели работы

Основной целью настоящей работы является разработка и исследование практических методов вычисления независимых высокоточных рядов координат станций для геодинамических исследований на основе переработки имеющихся решений для координат станций региональных GPS-сетей. Для достижения этой цели в диссертации были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка методики улучшения официальных решений EUREF в случайном и систематическом отношении; получение с применением этой методики рядов координат всех GPS-станций сети EUREF.
2. Разработка методики получения нового решения для координат станций сети EUREF на основе независимой комбинации результатов отдельных центров анализа; получение с применением этой методики рядов координат всех GPS-станций сети EUREF.
3. Применение полученных рядов координат станций для определения и исследования скоростей станций и длин баз между ними.

Научная новизна работы

1. Разработаны две новые методики повышения систематической точности рядов координат GPS-станций сети EUREF.
2. Впервые получены многолетние систематически однородные ряды координат всех GPS-станций сети EUREF.
3. Проведено сравнение различных методов вычисления рядов координат станций сети EUREF в случайном и систематическом отношении.
4. Получены высокоточные оценки изменения длин баз между европейскими станциями.
5. Получены скорости более 130 европейских GPS-станций.

Научная и практическая значимость работы

1. Разработанные алгоритмы улучшения недельных решений EUREF позволили получить высокоточные систематически стабильные 8-летние ряды координат европейских станций, пригодные для высокоточных геодинамических исследований. Эти алгоритмы пригодны также для обработки наблюдений любых региональных сетей станций.
2. Проведенное сравнение различных методов вычисления сводных решений для координат станций дает важную информацию для их дальнейшего развития.
3. Полученные ряды координат станций представляют собой высокоточные данные для геодинамических исследований в европейском регионе, частично представленных в работе.

4. Результаты сравнения изменений длин баз по GPS- и РСДБ-наблюдениям дают важную информацию для изучения систематических ошибок двух методов наблюдений.

5. Результаты определения скоростей более 130 европейских станций позволяют провести анализ движения отдельных частей евразийской тектонической плиты в европейском регионе.

Результаты, выносимые на защиту:

1. Методика улучшения случайной и систематической точности официальных решений для координат станций европейской GPS-сети.

2. Методика комбинации решений отдельных центров анализа для вывода нового сводного решения для координат европейских GPS-станций.

3. Высокоточные систематически однородные ряды координат европейских GPS-станций.

4. Результаты определения и анализа скоростей станций и длин баз.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, представлялись на семинарах и Ученых советах ИПА РАН, на отечественных и международных конференциях: Всероссийская астрономическая конференция, Санкт-Петербург, 2001 г; 15th European VLBI Meeting, Испания,2001; IAG Scientific Assembly, Венгрия, 2001; OCCAM Workshop, Австрия, 2002; EUREF Symposium, Португалия, 2002; Journees 2003 "Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from milliarcseconds to microacrseconds", Санкт-Петербург, 2003; EUREF Symposium, Испания, 2003; EGU General Assembly, Австрия, 2005; Всероссийская конференция "Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение", Санкт-Петербург, 2005; IERS Workshop on Combination, Германия, 2005.

Публикации и вклад автора

Материалы диссертации опубликованы в 14 работах (8 статьях и 6 тезисах) общим объемом 96 страниц, из которых 12 написаны совместно с другими авторами. В совместных работах [1, 4, 5, 7, 8] автором были вычислены долговременные однородные ряды координат для европейских GPS-станций, в работах [2, 3, 9, 10] автором было проведено исследование и разработка методики получения однородных решений на основе переработки официальных комбинированных решений для координат европейских GPS-станций, в работе [11] автором были описаны результаты, относящиеся к вычислению рядов координат станций сети EUREF, в работе [13] автором было проведено исследование и разработка методики получения нового комбинированного решения на основе недельных решений отдельных центров анализа, в работе [14] автором получены систематически однородные ряды координат станций европейской GPS-сети и проведено исследование скоростей этих станций.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации 101 страница. Диссертация содержит 5 таблиц, 78 рисунков и список литературы из 62 наименований.

Содержание диссертации

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

В **первой главе** приводится описание глобальной спутниковой системы GPS, организации региональной европейской GPS-сети EUREF, методы ее работы, обработки GPS-данных. Приводится список работающих центров анализа EPN и их основные характеристики. Описаны официальные решения EUREF для станций европейской GPS-сети. Показано, что применявшийся до 2005 г. метод вычисления этих решений приводит к существенным ошибкам и невозможности их использования для геодинамической интерпретации. Также описаны другие решения, в том числе получаемые в рамках специальных проектов.

Во **второй главе** получено новое однородное решение для координат станций европейской GPS-сети путем переработки официальных решений EUREF. В переработке использовались решения за GPS-недели с 900 (апрель 1997 г.) по 1302 (декабрь 2004 г.). Более ранние решения не использовались, так как тогда в работе участвовало всего несколько центров анализа, а точность наблюдений и обработки данных была невысока. Решения после GPS-недели 1303 не использовались для переработки, так как начиная с этой недели официальное комбинированное решение вычисляется при помощи метода минимальных ограничений, что должно ликвидировать недостатки решений, получаемых при помощи наложения жестких ограничений на координаты опорных станций. Однако в третьей главе показано, что и новая методика EUREF не избавлена от недостатков.

Вычисление нового решения проводилось в два шага: сначала из официальных недельных решений удалялись априорные ограничения на координаты станций; затем полученные решения приводились к ITRF2000 при помощи преобразования Хелмерта, которые включают три параметра линейного сдвига, три параметра вращения и масштабный коэффициент (иногда используется только часть этих параметров).

Возможность удалить априорные ограничения на координаты станций определяется тем, что при получении региональных решений используются окончательные орбиты и параметры вращения Земли, предоставляемые Международной GNSS службой (IGS), что ликвидирует сингулярность матрицы нормальной системы. Априорные ограничения могут быть удалены без искажения свободного решения, только если они были не жестче $\sim 0.01 - 0.1$ мм (Mareyen, Becker, 2000), что выполняется для решений EUREF. Удаление априорных ограничений производилось по формулам (Brockmann, 1996):

$$\widehat{\beta}_{free} = \widehat{\beta}_{apr} + \Sigma_{apr}(\Sigma_{apr} - \Sigma_c)^{-1}(\widehat{\beta}_c - \widehat{\beta}_{apr}),$$

$$\Sigma_{free} = (\Sigma_c^{-1} - \Sigma_{apr}^{-1})^{-1},$$

где $\widehat{\beta}_{free}$, Σ_{free} – решение без априорных ограничений и обратная матрица нормальной системы, $\widehat{\beta}_c$, Σ_c – решение с ограничениями и обратная матрица нормальной системы, $\widehat{\beta}_{apr}$, Σ_{apr} – априорное решение и обратная матрица нормальной системы.

Для приведения свободных решений к ITRF2000 использовались все общие для данного решения и ITRF2000 станции, за исключением 18 станций с нестабильным поведением (ANKR, ACOR, TRAB, VENE, UNPG, MOPI, MADR, BZRG, HERS, DRAG, BUCU, ESCO, HOFN, SBGZ, TERS, AJAC, CREU, EIJS). Для определения параметров перехода использовался

Таблица 1. Средние ошибки координат по 10 станциям

Координата	Вариация Аллана, мм			
	E	I1	I6	I7
dE	1.2	1.3	1.6	1.1
dN	1.3	1.4	1.7	1.3
dH	3.6	3.3	3.0	2.9

взвешенный метод наименьших квадратов (МНК). Веса станций назначались как обратная величина к квадрату ошибки координат. Координаты станций в ITRF2000 даны на эпоху 1997.0, они приводились с использованием скоростей ITRF2000 на эпоху данной GPS-недели. Затем по всем станциям вычислялись параметры Хелмерта, и свободное недельное решение приводилось в ITRF2000. Далее вычислялись разности координат станций между полученным недельным решением и ITRF2000, станции, для которых разность хотя бы по одной координате превышала 3 см, исключались, и параметры преобразования пересчитывались заново. На этом этапе было вычислено два решения с использованием 6 (без масштаба) и 7 параметров трансформации (решения I6 и I7 соответственно). Таким образом были получены недельные решения для координат станций в системе ITRF2000.

Было проведено сравнение этого решения с официальным комбинированным решением EUREF (E) и решением I1, полученным ранее в ИПА РАН методом обработки оригинальных наблюдений без фиксирования координат опорных станций (Malkin, Voinov, 2001). Так как последнее решение было получено на двухлетнем промежутке времени 1998–1999 гг., мы вычислили для этого промежутка вариацию Аллана рядов координат для 10 станций (GLSV, JOZE, LAMA, MDVO, MEDI, METS, NOTO, SVTL, WSRT, ZECK), присутствующих во всех 4 решениях и не использовавшихся в качестве опорных в официальном решении EUREF. В табл. 1 содержится средняя для этих станций вариация Аллана в локальной (East-North-Up) системе координат. Применение вариации Аллана в данном случае позволяет получить оценку случайной ошибки координат станций без необходимости задания модели тренда и долгопериодических вариаций. Сравнение показывает, что решение I7, полученное с использованием 7 параметров трансформации при переводе свободного решения в систему ITRF2000, имеет наименьшую случайную ошибку, поэтому этот метод был принят для дальнейшей работы.

В **третьей главе** получено новое независимое комбинированное решение на основе индивидуальных решений отдельных центров анализа EPN. Комбинация выполнялась в три шага:

1) удаление априорных ограничений на координаты опорных станций из решений отдельных центров анализа EPN;

2) приведение полученных решений к ITRF2000 при помощи преобразования Хелмерта с 7 параметрами;

3) получение комбинированного решения при помощи последовательного МНК.

Вычисления по первым двум этапам производились по методам, описанным в главе 2. Перед получением комбинированного решения ковариационные матрицы индивидуальных решений для данной GPS-недели масштабировались таким образом, чтобы средняя ошибка координат каждого отдельного решения равнялась средней ошибке координат по всем решениям для данной недели. Для исключения выбросов после получения предварительного комбинированного решения составлялись разности координат станций между каждым индивидуальным решением и комбинированным решением, после чего вычислялась дисперсия полученного ряда разностей σ . Станции, для которых разность координат превосходила 3σ хотя бы по одной компоненте, исключались из соответствующего индивидуального решения, после чего вычисление комбинированного решения повторялось. В результате этого итеративного процесса было получено окончательное комбинированное решение.

Для исследования стабильности нашего комбинированного решения были получены ряды параметров Хелмерта перехода от нового решения к ITRF2000 и от официального комбинированного решения к ITRF2000. Показано, что новое комбинированное решение значительно стабильнее в систематическом отношении, чем официальное решение EUREF. Для примера на рис. 1 приведены значения масштабного коэффициента для разностей официальных решений EUREF и полученных в диссертации с ITRF2000.

Случайная ошибка координат для нового решения осталась на том же уровне, что и случайная ошибка для официального решения. В табл. 2 приведены случайные ошибки координат для станций SVTL (Светлое), MDVO (Менделеево) и ZECK (Зеленчукская) для трех решений: официального решения EUREF (E), решения, полученного во второй главе с использованием 7 параметров Хелмерта (I7) и нового комбинированного решения (C).

Можно сделать вывод, что наше комбинированное решение более при-

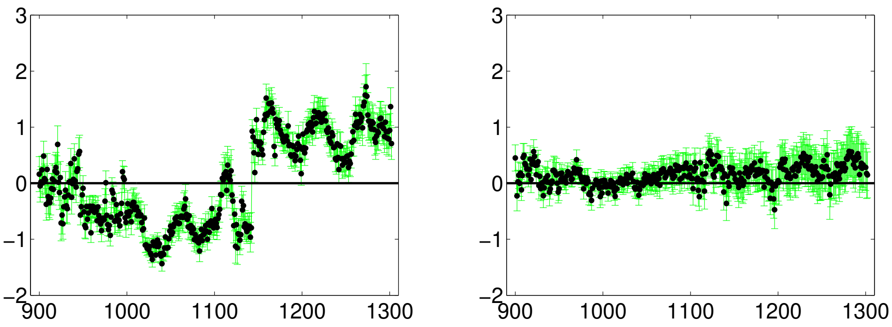

Рис. 1. Масштабные коэффициенты разностей с ITRF2000: слева официальное решение EUREF, справа решение, полученное в диссертации, см.; по оси абсцисс указан номер GPS-недели.

Таблица 2. Статистика для станций MDVO, SVTL и ZECK

Станция		Вариация Аллана, мм		
		E	I7	C
MDVO	dE	1.6	1.5	1.7
	dN	1.5	1.4	1.4
	dH	5.7	5.0	5.0
SVTL	dE	1.4	1.3	2.6
	dN	1.6	1.5	1.5
	dH	6.2	5.7	5.2
ZECK	dE	1.4	1.4	1.5
	dN	1.5	1.4	1.5
	dH	4.1	4.3	3.4

годно для геодинамических исследований, чем официальное решение EUREF. Решение доступно в SINEX-файлах через Интернет.

В **четвертой главе** полученные ряды координат станций европейской GPS-сети были использованы для вычисления их скоростей, а также для изучения изменений длин баз между европейскими станциями по РСДБ- и GPS-данным. Перед определением скоростей из рядов координат станций были удалены скачки, вызванные сменой оборудования и другими причинами. Для получения более надежных результатов скорости оценивались только для станций, наблюдавших не менее 3 лет. Таким образом были оценены скорости более 130 станций. На рис. 2 представлены горизонтальные скорости, показывающее общее движение станций вместе с движением соответствующих тектонических плит. На рис. 3 приведены остаточные скорости станций после вычитания скорости евразийской плиты по модели NNR-NUVEL-1A (Argus, Gordon, 1991). В основном, полученные скорости европейских GPS-станций хорошо согласуются (на уровне порядка 1 мм/год) с моделью NNR-NUVEL-1A для евразийской плиты. В то же время станции, расположенные близко к границам тектонических блоков, показывают расхождение с моделью в несколько мм/год. Также можно наблюдать дифференциальное движение отдельных блоков евразийской плиты, например в Скандинавии и районе Средиземного моря. Вертикальные скорости станций, представленные на рис. 4, показывают наличие эффекта постледникового поднятия в Скандинавском регионе и опускание в южной части Европы.

Для исследования изменений длин баз между европейскими станциями были использованы данные РСДБ- и GPS-наблюдений. Были получены ряды длин баз между шестью европейскими станциями, имеющими длительные ряды РСДБ- и GPS-наблюдений: MATE (Matera, Италия), MEDI (Medicina, Италия), NOTO (Noto, Италия), NYAL (Ny-Alesund, Норвегия, Шпицберген), WETT (Wettzell, Германия), ONSA (Onsala, Швеция) на промежутке времени 1997–2005 гг., затем были оценены их линейные скорости и амплитуды годовой и полугодовой составляющих. Мы использовали длины баз по РСДБ-данным, полученные в Боннском геодезическом институте в рамках проекта Международной РСДБ-службы IVS (Nothnagel, Vennebuch, 2006) путем комбинации решений нескольких центров анализа. В табл. 3 приведены результаты определения вариаций длин баз, полученных по РСДБ-наблюдениям и по новому комбинированному GPS-решению.

Для большинства баз скорости изменения их длин определяются достаточно уверенно, хотя совпадение в пределах ошибок для двух методов наблюдений наблюдается не всегда. Особенно заметное различие показывают несколько баз, включающих станцию NYAL. Для них хорошего согласия между РСДБ- и GPS-данными не наблюдается. Причиной этого может быть нестабильность положения GPS-антенны, обнаруженная во время геодезических измерений (Kierulf et al., 2002).

В **заключении** приведены результаты, полученные в диссертации.

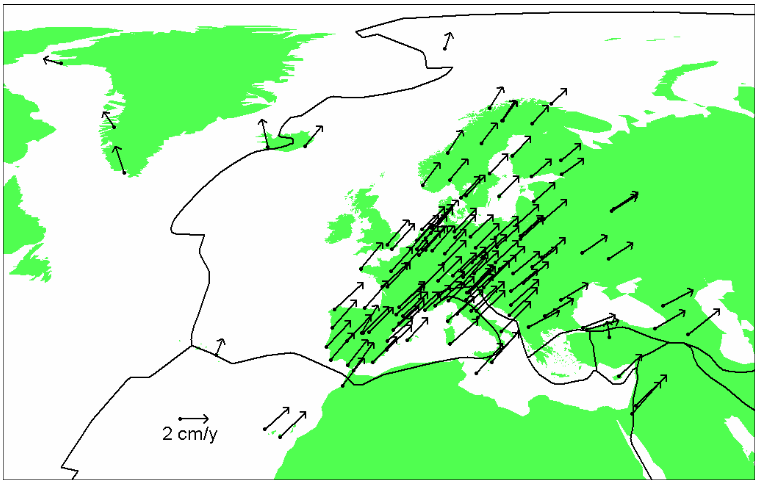

Рис. 2. Линейные горизонтальные скорости станций сети EUREF.

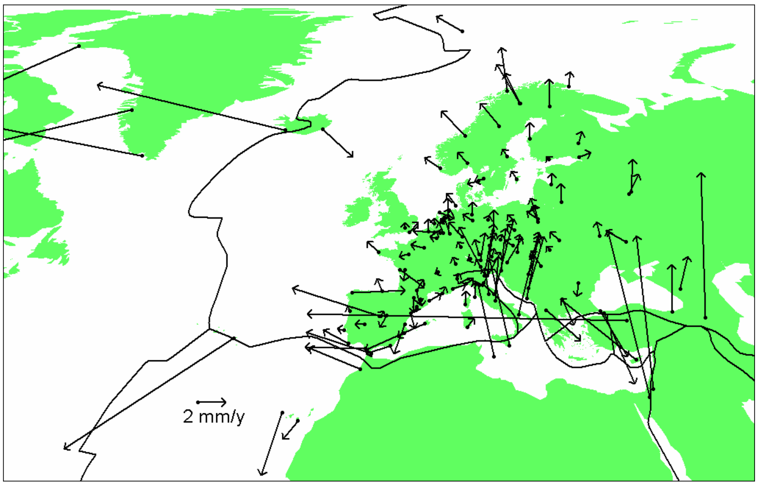

Рис. 3. Линейные горизонтальные скорости станций сети EUREF относительно модели NNR-NUVEL-1A для евразийской плиты.

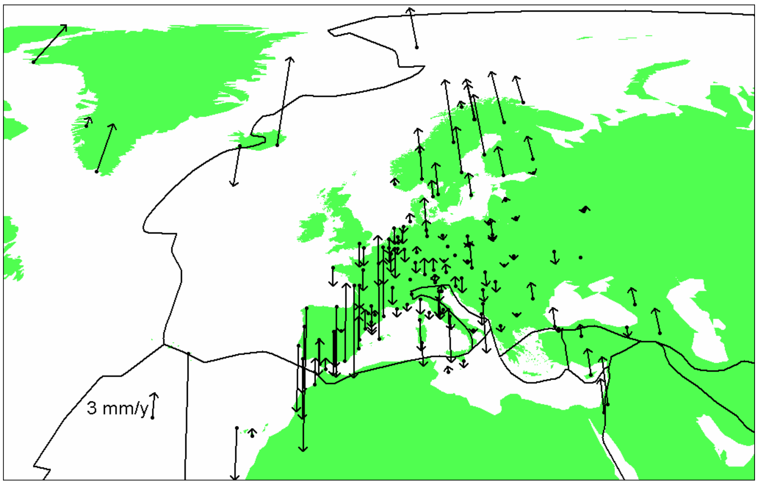

Рис. 4. Вертикальные скорости станций сети EUREF.

Таблица 3. Результаты определения вариаций длин баз: L – длина базы в км, N – число эпох (недель), Тренд – скорость, мм/год, Aa – амплитуда годовой гармоники, мм, Asa – амплитуда полугодовой гармоники, мм

База	L	РСДБ				GPS			
		N	Тренд	Aa	Asa	N	Тренд	Aa	Asa
MATE MEDI	597	61	−2.1 ±0.2	0.8 ±0.5	0.9 ±0.4	430	−2.2 ±0.1	1.0 ±0.2	1.2 ±0.2
MATE NOTO	444	24	+0.2 ±0.4	1.7 ±0.6	0.7 ±0.6	415	+0.7 ±0.1	1.0 ±0.1	0.1 ±0.1
MATE NYAL	4190	120	−1.2 ±0.2	1.7 ±0.7	1.8 ±0.7	372	−0.1 ±0.1	2.2 ±0.3	0.9 ±0.3
MATE ONSA	1886	56	−4.9 ±0.3	4.4 ±1.0	2.2 ±0.9	430	−4.4 ±0.1	1.2 ±0.2	0.6 ±0.2
MATE WETT	990	209	−3.6 ±0.1	1.6 ±0.3	0.1 ±0.3	430	−3.9 ±0.1	0.9 ±0.2	0.4 ±0.2
MEDI NOTO	894	29	−3.5 ±0.2	0.7 ±0.5	1.0 ±0.4	418	−4.3 ±0.1	1.5 ±0.2	0.5 ±0.2
MEDI NYAL	3777	97	−1.7 ±0.2	7.9 ±0.8	2.6 ±0.9	375	1.6 ±0.1	0.9 ±0.2	0.4 ±0.2
MEDI ONSA	1429	90	−3.2 ±0.4	7.1 ±0.8	3.6 ±0.8	433	−2.2 ±0.1	0.5 ±0.2	0.6 ±0.2
MEDI WETT	522	122	−2.4 ±0.1	0.6 ±0.2	1.1 ±0.3	433	−1.5 ±0.1	0.3 ±0.2	0.3 ±0.2
NOTO NYAL	4580	36	−2.6 ±0.6	5.4 ±1.6	1.3 ±1.6	360	−0.6 ±0.1	1.3 ±0.2	0.4 ±0.2
NOTO ONSA	2280	33	−5.8 ±0.4	3.1 ±0.8	1.8 ±0.9	418	−5.3 ±0.1	0.9 ±0.1	0.5 ±0.1
NOTO WETT	1371	35	−5.1 ±0.4	1.9 ±1.1	1.1 ±1.1	418	−4.9 ±0.1	1.3 ±0.2	0.4 ±0.2
NYAL ONSA	2387	119	+1.5 ±0.2	1.9 ±0.8	0.9 ±0.8	375	+3.9 ±0.1	1.0 ±0.2	0.6 ±0.2
NYAL WETT	3283	512	+0.7 ±0.1	2.9 ±0.3	2.6 ±0.3	375	+3.2 ±0.1	0.9 ±0.2	0.7 ±0.2
ONSA WETT	920	157	+0.2 ±0.2	0.2 ±0.6	4.2 ±0.6	433	−0.7 ±0.1	0.6 ±0.1	0.3 ±0.1

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Малкин З. М., Панафидина Н. А., Скурихина Е. А. Сравнение длин баз, полученных из обработки GPS- и РСДБ-наблюдений на европейской сети станций. В кн.: Всероссийская астрономическая конференция, С.-Петербург, 6–12 августа 2001, Тезисы докладов, с. 119.

2. Панафидина Н. А., Малкин З. М. О вычислении однородного ряда координат европейской GSP-сети. В кн.: Всероссийская астрономическая конференция, С.-Петербург, 6-12 августа 2001, Тезисы докладов, с. 139.

3. Panafidina N., Malkin Z. On Computation of a Homogeneous EUREF Coordinate Time Series. In: Abstracts "Vistas for Geodesy in the New Millennium", IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 2-7 Sep. 2001, pp. 35–36.

4. Malkin Z., Panafidina N., Skurikhina E. Length Variations of European Baselines Derived from VLBI and GPS Observations. In: D. Behrend, A. Rius (Eds.), Proc. 15th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Barcelona, Spain, Sep 07-08, 2001, pp. 116–123.

5. Malkin Z., Panafidina N., Skurikhina E. Variations of European Baseline Lengths from VLBI and GPS Data (abstract). In.: IVS 2002 General Meeting Proc., eds. N. R. Vandenberg, K. D. Baver, NASA/CP-2002-210002, 2002, pp. 309.

6. Panafidina N. IAA combined EUREF weekly coordinate time series. Proceedings of the EUREF Symposium, Ponta Delgada, Azores, 2002, pp. 396–397

7. Skurikhina E., Panafidina N., Sokolova Yu. GPS and VLBI baseline length variations. In: Proc. Journees 2003: Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: from milliarcseconds to microarcseconds, St. Petersburg, Russia, Sep 22-25, 2003, Eds. A. Finkelstein, N .Capitaine, 2004, pp. 89–90.

8. Малкин З. М., Панафидина Н. А., Скурихина Е. А. Вариации длин баз между европейскими станциями по GPS- и РСДБ-наблюдениям. Тр. ИПА РАН, 2004, вып. 11, с. 3-13.

9. Панафидина Н. А., Малкин З. М.. Вычисление однородного ряда координат европейских GPS-станций из переработки недельных решений EPN. Тр. ИПА РАН, 2004, вып. 11, с. 14-28.

10. Panafidina N., Malkin Z. Computation of a homogeneous coordinate time series for European GPS stations by reprocessing of the weekly EPN solutions. In: EUREF Publication No 13, J. A. Torres, H. Hornik (eds.), Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodaesie, Frankfurt am Main, 2004, pp. 423-427.

11. Гаязов И. С., Панафидина Н. А., Малкин З. М. Обработка GPS-наблюдений в ИПА РАН. В кн.: Всероссийская конференция "Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение" (КВО-2005), Санкт-Петербург, 11-15 апреля 2005 г., Тезисы докладов, СПб.: ИПА РАН, с. 101-102.

12. Panafidina N. IAA combined solution, In: Geophysical Research Abstracts, Volume 7, EGU General Assembly 2005.

13. Панафидина Н. А., Малкин З. М. Комбинированное решение для координат станций европейской GPS-сети, Сообщение ИПА РАН 174, 2006. –28 с.

14. Панафидина Н. А., Малкин З. М. Определение скоростей европейских GPS-станций, Сообщение ИПА РАН 173, 2006. –18 с.

Цитируемая литература

1. Altamimi Z., Sillard P., Boucher C. ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications, J. Geophys. Res., 2002, 107 (B10), 2214, doi:10.1029/2001JB000561.

2. Argus, D. F. and Gordon, R. G., 1991, "No-Net-Rotation Model of Current Plate Velocities Incorporating Plate Motion Model Nuvel-1," Geophys. Res. Lett., **18**, pp. 2038–2042.

3. Brockmann E. Combination of solutions for geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System (GPS), Bern, Switzerland, 1996, (ftp://ftp.unibe.ch/aiub/papers/ebdiss.pdf)

4. Bruyninx C. The EUREF Permanent Network: a multi-disciplinary network serving surveyors as well as scientists, GeoInformatics, 2004, Vol 7, pp. 32–35

5. Kierulf H. P., Bockmann L., Kristiansen O., Plag H.-P. Foot-Print of the Space-Geodetic Observatory, Ny-Alesund, Svalbard, IVS 2002 General Meeting Proceedings, eds. N. R. Vanderberg, K. D. Baver, NASA, CP-2002-210002, 2002, pp. 86–90

6. Malkin Z., Voinov A. Preliminary results of processing EPN network observations using a non-fiducial strategy, Phys. Chem. Earth (A), 2001, v. 26, pp. 579-583.

7. Mareyen M., Becker M. On the removal of a priori restrictions from GPS network solutions in a SINEX format. Allgemeine Vermessungsnachrichten, 107(2000)11-12, S. 405–411.

8. Nothnagel A., Vennebusch M., 2006, http://vlbi.geod.uni-bonn.de/baseline-project/index.php

Подписано к печати 19.04.2006	Заказ		Формат $60 \times 90/16$
Печ. л. 1.0	Уч.-изд. л. 1.0	Тираж 110	Бесплатно

Отпечатано в ЗАО "Полиграфическое предприятие № 3",
Санкт-Петербург, Литейный пр., 55

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