

ЦЫБА ЕФИМ НИКОЛАЕВИЧ

**Методика и результаты оценки временных изменений радиус-
векторов пунктов глобальной спутниковой сети
Международной службы ГНСС**

Специальность: 25.00.32 –геодезия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва 2010

Общая характеристика работы

Актуальность работы

В настоящее время изучение глобальных деформаций земной поверхности является актуальной проблемой и вызывает большой интерес ученых и специалистов разных стран. По проблемам глобальной геодинамики ежегодно публикуется большое количество статей и проводится значительное число научных конференций, что свидетельствует о постоянно нарастающем интересе. В этой связи важным обстоятельством является недавняя организация Международной системы геодезических наблюдений (Global Geodetic Observation System - GGOS) в рамках деятельности Международной ассоциации геодезии. Задачей системы является контроль глобальных изменений верхних оболочек Земли с использованием глобальной комплексной геодезической сети. Важнейшим компонентом этого комплекса является глобальная сеть Международной системы глобальных навигационных спутниковых систем (International GNSS service - IGS), сегодня сформированная пунктами наблюдения систем GPS и ГЛОНАСС, а в будущем предполагающая использование GALILEO и других аналогичных систем.

Основное содержание диссертационной работы заключается в анализе данных многолетних GPS наблюдений на пунктах IGS, специально отобранных из общей сети с целью достижения возможно более однородного покрытия земной поверхности. Исследования и разработки по теме диссертации направлены на разрешение актуальных вопросов о том:

- насколько стабильной на сегодняшний день является глобальная координатная основа;
- насколько возможна сегодня оценка тенденций глобальных изменений земной поверхности средствами GPS;
- в какой степени наблюдаемые тенденции глобальных изменений описывают реальные процессы или они являются следствием

несовершенства геодезических измерительных средств и используемых геофизических моделей?

Методики, используемые для изучения глобальных деформаций Земли в целом, сегодня требуют определенной доработки, ввиду того, что характеристики, получаемые с их использованием, могут быть недостаточно эффективными. Одной из основных задач диссертационной работы является разработка новой и более совершенной методики определения характеристик изменений формы земной поверхности низших порядков, таких как изменения среднего радиуса земной сферы и полуосей земного эллипсоида вращения.

Цель работы

Целью работы является изучение тенденций глобальных изменений земной поверхности на основе наблюдений глобальной спутниковой системы определения местоположения GPS, а также получение информации о качестве глобальной координатной основы, создаваемой с использованием GPS.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи диссертационного исследования:

- формирование специальной контрольной сети из общей совокупности пунктов IGS;

- разработка новой методики обработки данных наблюдений, обеспечивающей ослабление влияния горизонтальных движений земной поверхности на искомые характеристики;

- получение новых количественных характеристик о тенденциях изменений формы Земли в целом, а также о возможных несовершенствах измерительных средств и методов.

Научная новизна работы

В диссертационной работе разработана новая методика оценки тенденций временных глобальных изменений формы Земли по данным GPS измерений, избавленная от влияния горизонтальных составляющих

геодинамических процессов. Для решения данной задачи использован более простой и эффективный подход. С использованием разработанной методики впервые получены временные ряды изменений среднего радиуса земной сферы и полуосей земного эллипсоида вращения. В полученных временных рядах выявлены интересные закономерности, представляющие новую информацию о возможных глобальных изменениях и/или систематических ошибках геодезических измерений, а также ошибках геофизических моделей, используемых при построении глобальных отсчетных геодезических основ.

Практическая значимость работы

Полученные результаты представляют информацию для принятия практических мер по повышению точности глобальной геодезической основы за счет учета систематических изменений, а также для совершенствования официальных геофизических моделей.

Результаты разработок использованы в Научно исследовательской работе по изучению возможностей Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) России в рамках Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система». Наряду с зарубежными данными в исследовании использованы наблюдения на пунктах ФАГС России: Менделеево, Екатеринбург, Зеленчук, Тикси, Иркутск, Магадан, Билибино, Петропавловск-Камчатский, Уссурйск, входящих в состав IGS.

Результаты, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие результаты:

- новая методика определения изменений среднего радиус-вектора сферической модели и полуосей эллипсоида вращения, обеспечивающая информацию о возможных систематических искажениях координат глобальной геодезической основы;

- количественные характеристики характера деформирования модели в целом, как эмпирическая основа для изучения причинно-следственных взаимосвязей в изучаемых характеристиках глобальных изменений и возможных ошибках определения координат;

- результаты интерпретации полученных временных рядов радиальных глобальных изменений земной поверхности.

Апробация работы

Основные результаты по теме диссертации докладывались на конференции молодых ученых в МИИГАиК в 2007, 2008, 2009 гг; представлялись на научном семинаре ГАИШ МГУ «Сагитовские чтения» (г. Москва, 2007 г, 2008 г.), на Российско-Финском семинаре «Российско-Финская научная кооперация: астрометрия, геодезия и гравиметрия в XX-XXI столетиях» (Санкт-Петербург, Пулковская обсерватория, 2007 г.) , а также на международной конференции “Electronic Geophysical Year: State of the Art and Results” в Переславле – Залесском в июне 2009 года.

Публикации

Результаты диссертации опубликованы в 4 работах (3 в реферируемых изданиях, рекомендованных ВАК).

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 161 страницах текста. Работа содержит 32 рисунка, 11 таблиц и 1 приложение. Список литературы включает в себя 65 наименований, в том числе 31 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

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.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ

На основании изученных литературных источников выполнен анализ современных работ по изучению геодинамических процессов с помощью спутниковых систем (GPS, DORIS, SLR, VLBI).

Рассмотрено значение геодинамики применительно к глобальным, региональным и локальным областям на примерах известных проектов.

Таблица 1. Оценка скорости изменения земного радиуса по геодезическим данным (на основе работы Герасименко М. Д. с дополнениями)

№	Автор, год опубликования	Временной интервал	Методы измерения	V_r мм/год	σ_{vr}
1	У.Д. Паркинсон, 1986 г. (по У. Керри, 1991, стр. 192-194)	?	РСДБ	+28	± 8
2	В. Ф. Блинов, 1987	?	Доплеровский метод	+24.3	-
3	В. Ф. Блинов, 1987	1979-1982	SLR	+31.0	-
4	Неки et al, 1989	1979-1986	VLBI	$\approx -7-8$	-
5	В. Ф. Блинов, 1992	1980-1984	SLR	$\approx +20$	-
6	М. Д. Герасименко, 1993	1978-1988	SLR	$\approx +4.15$	± 0.27
7	М. М. Машимов, 1994	1978-1988	LSR Lageos	$\approx (-10)$	0.1-0.2
8	Takahashi, 1994	1984-1989	SLR, VLBI	-0.6	± 2.5
9	М. Д. Герасименко, 1995	?	VLBI(РСДБ)	3	2
10	Lutes, 1996	1979-1995	VLBI	-0.94 -0.01	± 0.35 ± 0.04
11	М. Д. Герасименко, 1998	1979-1995	VLBI	$(-0.5 \div +0.5)$	± 0.5
12	M. D. Gerasimenko, Kato 2000	1979-1997	VLBI	-0.14 +0.48	± 0.18 ± 0.09
13	M. D. Gerasimenko, Kasahara 2001	?	VLBI	-0.3	± 0.01
14	А.Г. Коломиец, М.Д. Герасименко, Ж.Ф. Крето, Л. Сударин 2007г.	1992-2001	DORIS	+0.21	0.99

Особое внимание в этой главе уделено применению спутниковых систем для изучения глобальных геодинамических процессов. Анализ современного использования спутниковых сетей GPS, DORIS, SLR, VLBI подтвердил целесообразность использования наблюдений ГНСС для исследования упомянутых глобальных проявлений, так как таковые ранее не использовались. В заключение раздела приводится сводка основных работ по использованию спутниковых данных для определения радиальных изменений Земной поверхности. Следует отметить, что все приведенные в таблице авторы использовали для оценки изменений метод анализа хорд, а сами оценки изменений колеблются в достаточно широком диапазоне от -10 до 28 мм/год, демонстрируя тенденцию уменьшения от десятков мм/год до долей мм/год по мере совершенствования подходов и получения более современных измерительных данных.

ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ РАДИУСА СФЕРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ И ПОЛУОСЕЙ АППРОКСИМИРУЮЩЕГО ЭЛЛИпсоИДА

Особое внимание в данной главе уделено процессу формирования исходной сети GPS на основе IGS данных, находящихся в свободном доступе на Интернет-сайте <ftp://garner.ucsd.edu/pub/>. Выбор постоянно действующих пунктов осуществлялся таким образом, чтобы они наиболее равномерно охватывали весь Земной шар и функционировали достаточно стабильно на продолжительном интервале времени. Полученный вариант сформированной сети представлен на рис.1. Сформированная сеть состоит из 99 пунктов, функционирующих почти непрерывно в течение 6.5 лет. Кратковременные перерывы в наблюдениях устранялись путем интерполяции координат между ближайшими смежными наблюдениями.

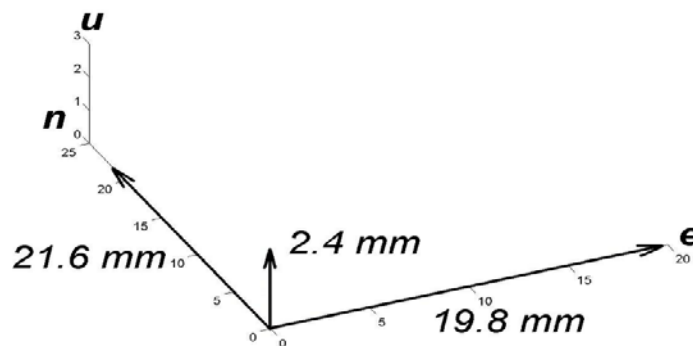


Рис.2. Сравнение эмпирических стандартов горизонтальных и вертикальных смещений пунктов глобальной геодезической сети по каждой из трех компонент движения

Оценки, приведенные на рис. 2., убедительно свидетельствуют о, примерно на порядок, большей эффективности методик анализа изменений земного радиуса, использующих информацию о вертикальных движениях, чем – о горизонтальных, так как горизонтальная подвижность земной поверхности более высока. Это говорит о том, что деформации однородного горизонтального растяжения-сжатия, которые можно интерпретировать как изменения объема Земли, будут определены с большей дисперсией, чем оценки изменения объема по длинам радиус-векторов пунктов глобальной геодезической сети.

На основе полученных оценок, была разработана новая методика определения изменений формы физической поверхности Земли низших порядков (для сферы и эллипсоида вращения) с использованием длин радиус векторов (геоцентрических расстояний) пунктов сформированной сети. В основе этой методики лежат следующие геометрические соотношения:

1) Для оценки изменений во времени радиуса средней земной сферы используются временные разности геоцентрических расстояний Δr_{ij} (текущая дата j минус начальная) для каждого пункта

$$\Delta r_{ij} = \sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2 + \Delta z_{ij}^2}, \quad (1)$$

где Δx , Δy и Δz – разности прямоугольных геоцентрических координат, полученные на каждую дату для каждого пункта. Средние для всей сети значения изменений во времени геоцентрических расстояний на каждую дату по отношению к начальной принимались за изменения среднего земного радиуса.

2) Для оценки изменений во времени полуосей земного эллипсоида вращения (аппроксимирующего физическую поверхность Земли) использовано уравнение связи геоцентрических расстояний r с полуосями a и b эллипсоида вращения

$$r = ab(a^2 \sin^2 \Phi + b^2 \cos^2 \Phi)^{-\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где Φ – геоцентрическая широта геодезического пункта.

Составлялась система нормальных уравнений

$$x = [da_i \quad db_i]^T = -(A^T A)^{-1} A^T l, \quad (3)$$

где x – искомый вектор неизвестных приращений полуосей эллипсоида вращения на каждую дату по отношению к начальной,

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial a} & \frac{\partial r_1}{\partial b} \\ \frac{\partial r_2}{\partial a} & \frac{\partial r_2}{\partial b} \\ \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \\ \frac{\partial r_n}{\partial a} & \frac{\partial r_n}{\partial b} \end{bmatrix} \text{ - матрица коэффициентов уравнений поправок,}$$

$$\frac{\partial r}{\partial a} = \frac{r_{cp}^3 \times \cos^2 \Phi}{a_0^3}, \quad \frac{\partial r}{\partial b} = \frac{r_{cp}^3 \times \sin^2 \Phi}{b_0^3}, \quad \Phi = \arcsin \frac{z}{r_{cp}}, \quad l = [R_0 - R_i] \text{ - вектор}$$

свободных членов и r_{cp} – среднее значение геоцентрического расстояния для каждого пункта, использованное для вычисления коэффициентов уравнений поправок.

Решая систему нормальных уравнений (3) по методу наименьших квадратов получали искомые значения изменений во времени полуосей аппроксимирующего эллипсоида вращения.

С использованием специально составленных программ на алгоритмическом языке Matlab 6.5 получены временные ряды значений изменений длин большой da и малой db полуосей за счет изменений радиус-векторов пунктов глобальной геодезической сети, а также изменения среднего радиус-вектора Земли Δr . Результаты вычислений представлены на рис.3.

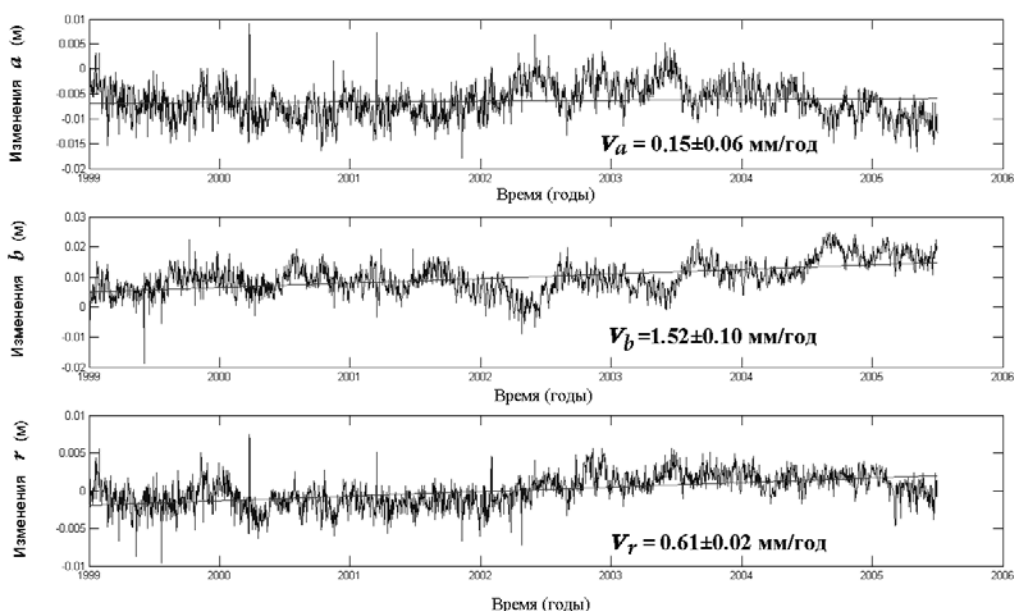


Рис.3. Изменение большой, малой полуосей эллипсоида вращения и среднего радиус-вектора.

На графиках представлены также оценки линейных трендовых компонент и их остаточные стандартные отклонения, полученные с использованием стандартных подпрограмм алгоритмического языка Matlab 6.5.

Разработанные методики оценки изменений среднего радиус-вектора и полуосей эллипсоида вращения позволили получить временные ряды этих характеристик. Таким образом, получена новая эмпирическая информация о

глобальных изменениях земной поверхности, а также о возможном вкладе в эти характеристики ошибок измерений или используемых официальных геофизических моделей.

Для каждого из временных рядов изменений r , a и b по методу наименьших квадратов вычислялись стандартные остаточные отклонения, которые продемонстрировали монотонное возрастание по мере удаления от начальной даты. Временные ряды этих значений в сопоставлении с основными искомыми характеристиками представлены на рис. 4.

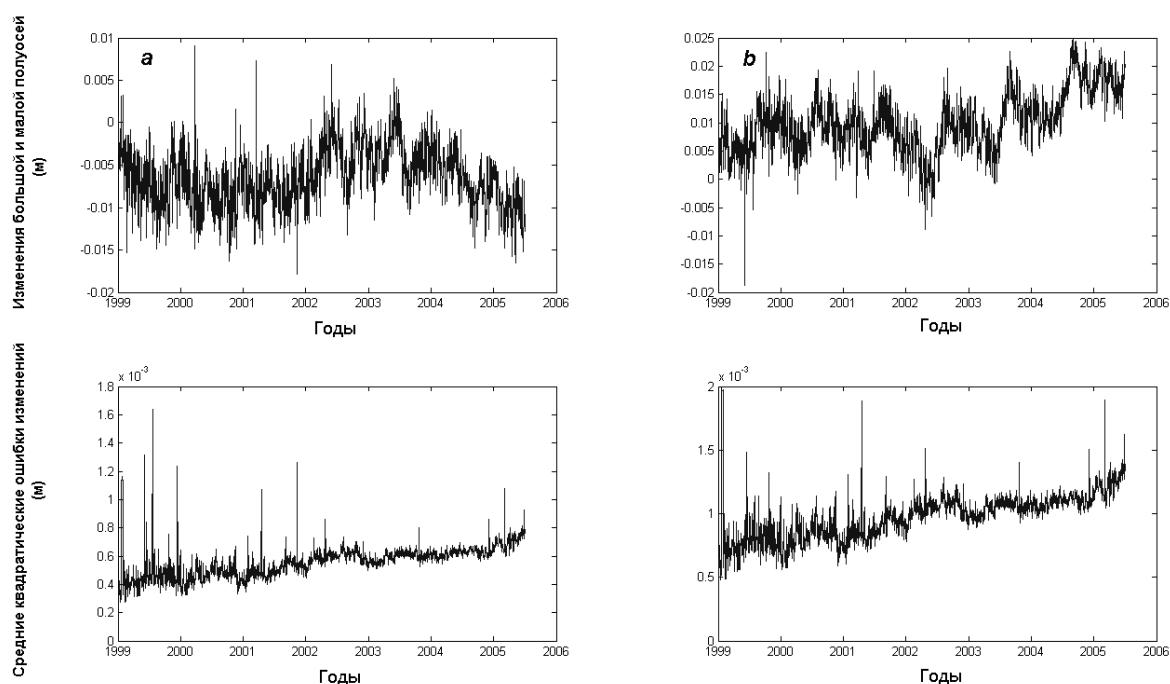


Рис.4. Временные ряды изменений большой малой полуосей аппроксимирующего эллипсоида вращения (вверху) и их стандартные отклонения (внизу).

Ввиду того, что в результате анализа обнаружен в значительной мере равномерный рост среднеквадратических остаточных отклонений, предпринята попытка более детального анализа этих характеристик. Для каждых суток были рассчитаны гистограммы распределения остаточных отклонений, чтобы качественно оценить степень приближения фактического распределения, нормальному распределению Гаусса. Характер изменения

гистограмм распределения остаточных отклонений среднего радиуса во времени представлен на рис. 5.

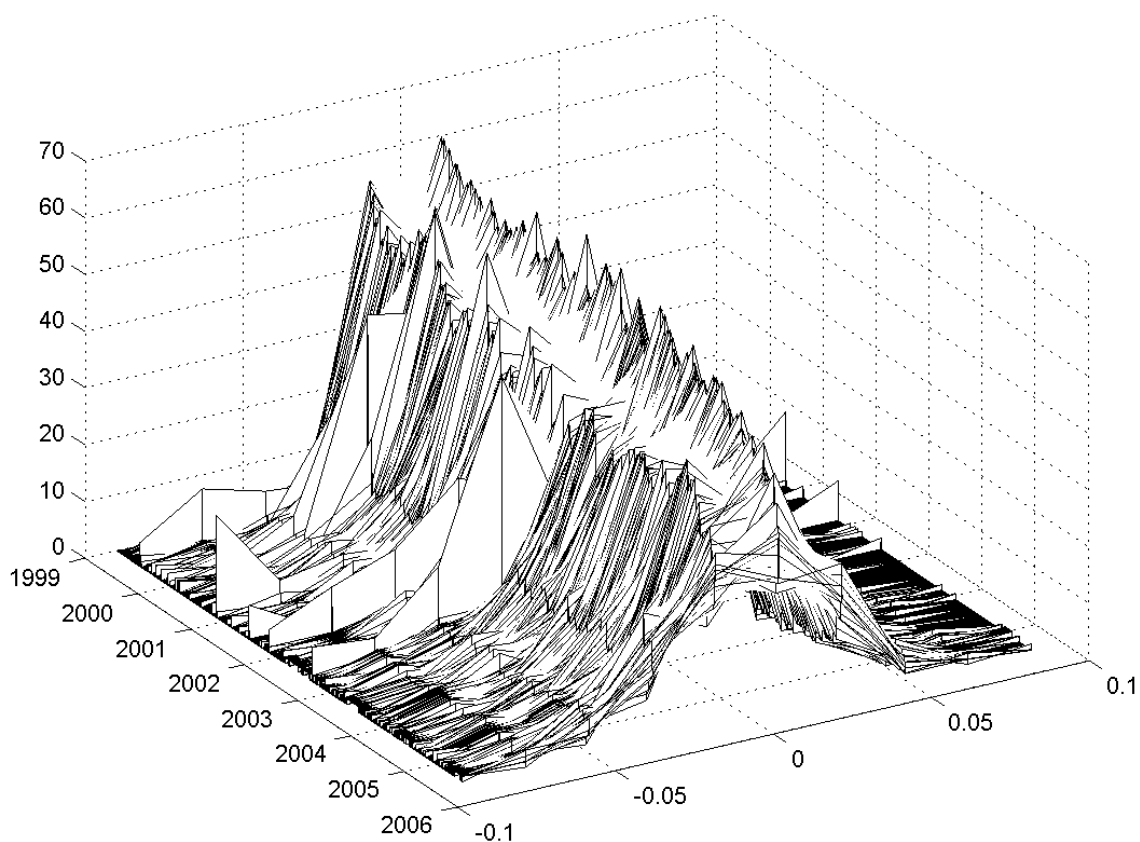


Рис. 5. Характер изменения гистограмм во времени (по вертикальной оси – числа попадания в заданные равномерные интервалы от -0.08 м до 0.08 м, по горизонтальным осям - время в годах и диапазон «разброса» остаточных отклонений)

Визуальный анализ полученной картины показывает, что для начала временного ряда характерна значительная островершинность и двухмодальность распределения остатков. По мере удаления от первой эпохи наблюдений к концу ряда двухмодальность практически исчезает и распределение в большей степени приближается к нормальному.

Можно предположить, что остаточные отклонения сформированы в результате смешения двух главных факторов, или на значениях геоцентрических расстояний отразилось периодическое колебание.

На основе исследований, представленных в главе 2, делаются следующие выводы.

Разработанные методики оценки изменений среднего радиус-вектора и полуосей эллипсоида вращения позволили получить временные ряды этих характеристик. Таким образом, получена новая эмпирическая информация о глобальных изменениях земной поверхности, а также о возможном вкладе в эти характеристики ошибок измерений или используемых официальных геофизических моделей. Визуальный анализ временных рядов позволяет обнаружить интересные особенности, требующие своего объяснения. Во-первых, наблюдается устойчивая для данного временного интервала тенденция увеличения среднего радиус-вектора, а также полуосей аппроксимирующего эллипсоида вращения. Во-вторых, обнаружена тенденция роста средних квадратических остаточных отклонений со временем. В третьих, в полученных временных рядах замечаются периодические компоненты, которые могут свидетельствовать как о физической природе полученных тенденций, так и о возможно недостаточно высокой точности применяемых официальных геофизических моделей при определении координат пунктов глобальных геодезических сетей.

Данные результаты нуждаются в анализе, с целью выявления их действительной природы, на что направлены последующие исследования, представленные в третьей главе диссертационной работы.

Глава 3 .Интерпретация выявленных изменений радиус-векторов пунктов глобальной геодезической сети

Представленные результаты позволили обнаружить устойчивые тенденции удлинения не только среднего радиус-вектора, но также и стандартных остаточных отклонений от полученных средних значений. Оба эти эффекта заслуживают внимания в связи с целым рядом аспектов в области геодезии и геодинамики. Из них можно выделить два основных:

глобальный геодинамический и технологический. При рассмотрении результатов анализа возникает проблема правильной интерпретации полученных оценок. Возникают вопросы: можно ли отождествлять полученную тенденцию систематического удлинения радиус-векторов с увеличением земного радиуса, или она является результатом несовершенства геофизических моделей, используемых при обработке СРНС измерений в глобальных геодезических сетях? Ответы на эти вопросы крайне важны для оценки и прогнозирования глобальных изменений, а также для совершенствования технологий построения глобальных геодезических систем отсчета.

Последние результаты побудили к более детальному анализу полученных временных рядов изменений среднего радиус-вектора с использованием метода анализа скрытых периодичностей, именуемого методом анализа доминирующих гармоник, предложенного и описанного в работе [Кафтан В.И., 2003]. В результате данного этапа исследований диссертантом с использованием готового программного обеспечения были получены статистически значимые периодические компоненты, наиболее высокоамплитудные из которых показаны на Рис. 5. Отметим, что доминирующими компонентами в нашем случае считаются периодические изменения значений временного ряда, амплитуды которых более чем вдвое превышают соответствующие стандартные остаточные отклонения.

Анализ показал высокую вероятность существования колебательных изменений не только около годового периода. Заметим, что все высокоамплитудные гармоники находят аналоги в приливных колебательных изменениях земной поверхности. Наибольшую амплитуду имеет околопятилетняя гармоника, которую можно соотнести с околодевятилетней приливной волной, так как она охватывает почти весь период наблюдений и имеет самую низкую надежность ее определения. Отметим, что около годовая компонента в нашем случае более близка к Чандлеровской волне, чем к

сезонной. Имеются также и околomesячные колебательные компоненты, близкие к теоретическим приливным аналогам рис. 6-7.

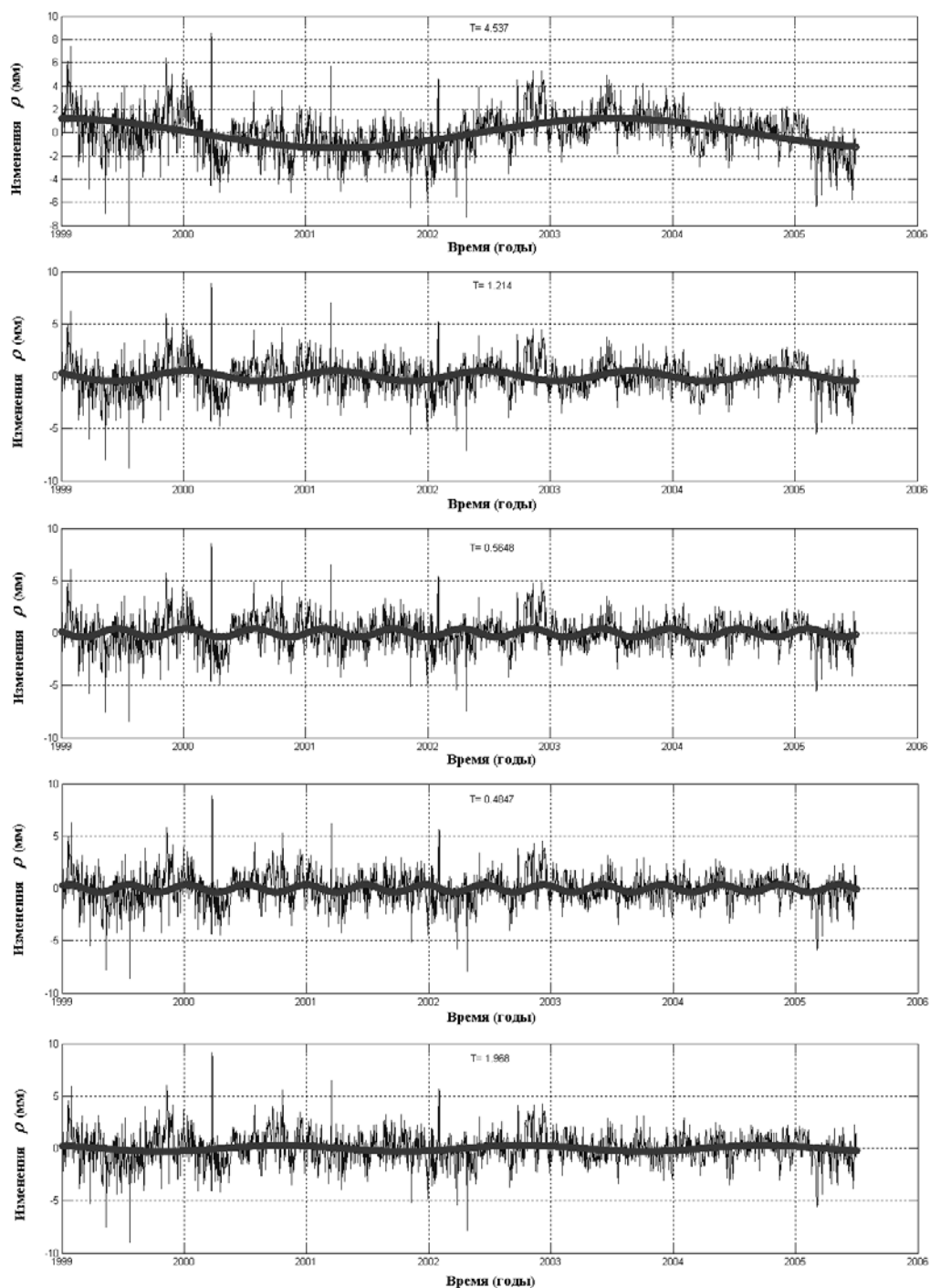


Рис.6. Первые высокоамплитудные синусоидальные компоненты колебательных изменений среднего радиус-вектора (амплитуды от 0.5 до 4.5 лет).

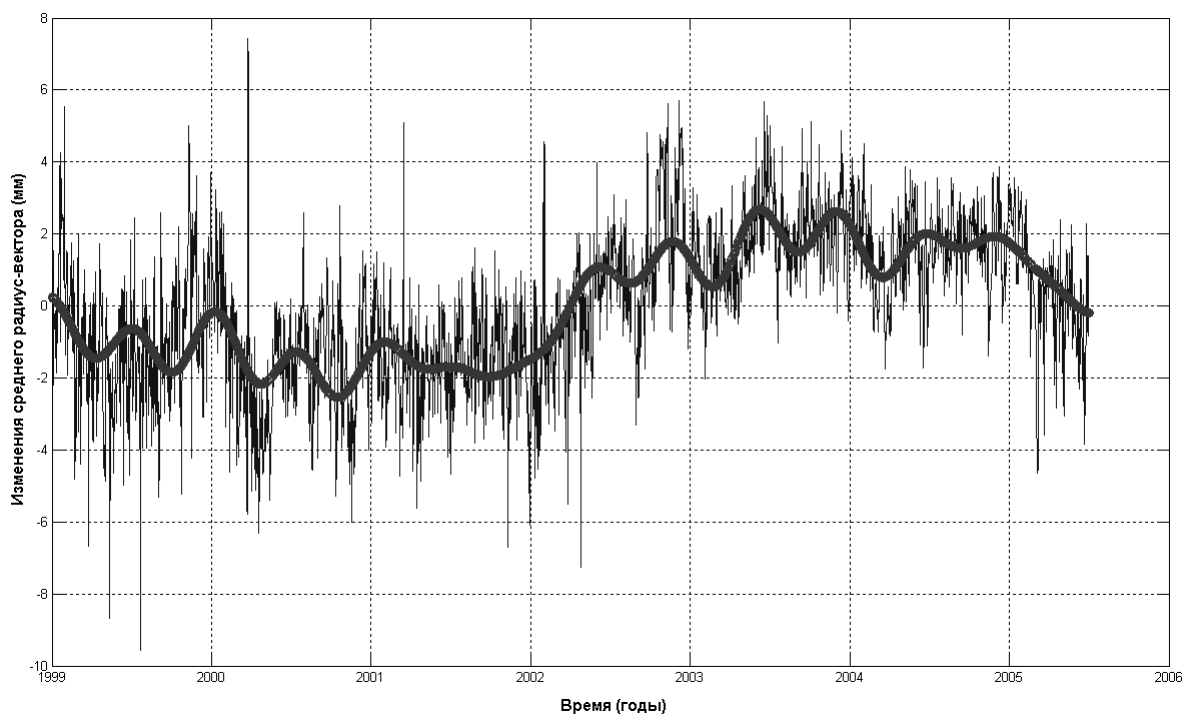


Рис. 7. Полипериодическая модель изменений среднего радиус-вектора. Линейный тренд плюс пять высокоамплитудных компонент.

Для получения информации о возможных причинах наблюдаемых изменений радиус-векторов интересно вычислить характеристики тенденций их поведения отдельно для каждого из полушарий Земли; северного и южного. С этой целью общий набор геодезических пунктов был разделен на два, соответственно полушариям. Число пунктов в северном и южном полушариях составило 77 и 22, соответственно. Эта неоднородность объемов выборок обусловлена меньшей площадью суши в южном полушарии, по сравнению с северным. Естественно, что в данном случае оценки средних радиальных изменений для южного полушария будут иметь большую дисперсию, чем соответствующие характеристики северного полушария. Тем не менее, увеличить объем выборки для южного полушария не представляется возможным по объективным причинам, а уменьшать объем данных для северного полушария нежелательно, так как это снизит эффективность оценок.

Раздельное определение тенденций временного изменения геоцентрических расстояний осуществлено по методике, представленной во второй главе. Различие заключалось лишь в разделении данных по полушариям.

Для каждого из полушарий получены графики изменений большой и малой полуосей, а также среднего радиуса. Результаты представлены на рис. 8-9.

Сравнение скоростей изменений радиальных тенденций изменений северного и южного полушарий, а также Земли в целом представлено в таблице 2.

Можно видеть, что, во-первых, скорости изменений для разных полушарий неодинаковы и даже качественно различны. Большая полуось северного полушария испытывает сжатие, а аналогичная характеристика южного – растяжение. Изменения в южном полушарии протекают более интенсивно, чем в северном. Скорость увеличения среднего радиуса в южном полушарии втрое выше соответствующей скорости для северного полушария.

Таблица 2 Сравнение скоростей изменений радиальных тенденций изменений северного и южного полушарий, а также Земли в целом.

Территория исследований	Скорости изменений и соответствующие стандартные отклонения (мм/год)		
	Большая полуось	Малая полуось	Средний радиус
Земля в целом	0.15+0.06	1.52+0.10	0.61+0.02
Северное полушарие	-0.23+0.09	1.45+0.12	0.44+0.06
Южное полушарие	1.06+0.11	2.61+0.18	1.42+0.11

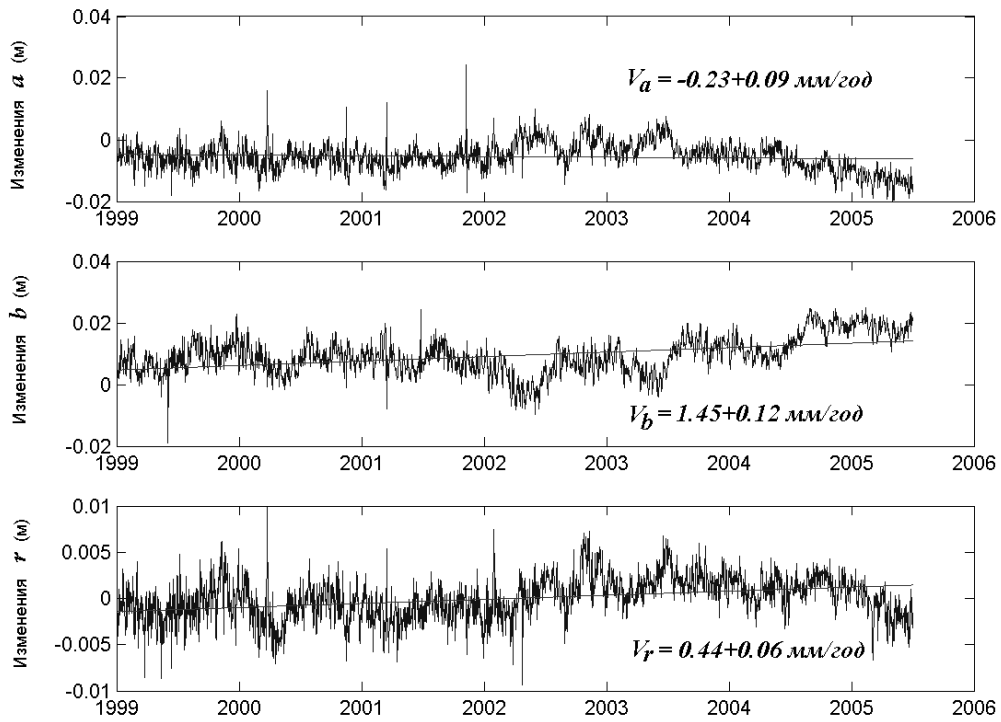


Рис.8. Характер изменения полуосей и среднего радиуса северного полушария

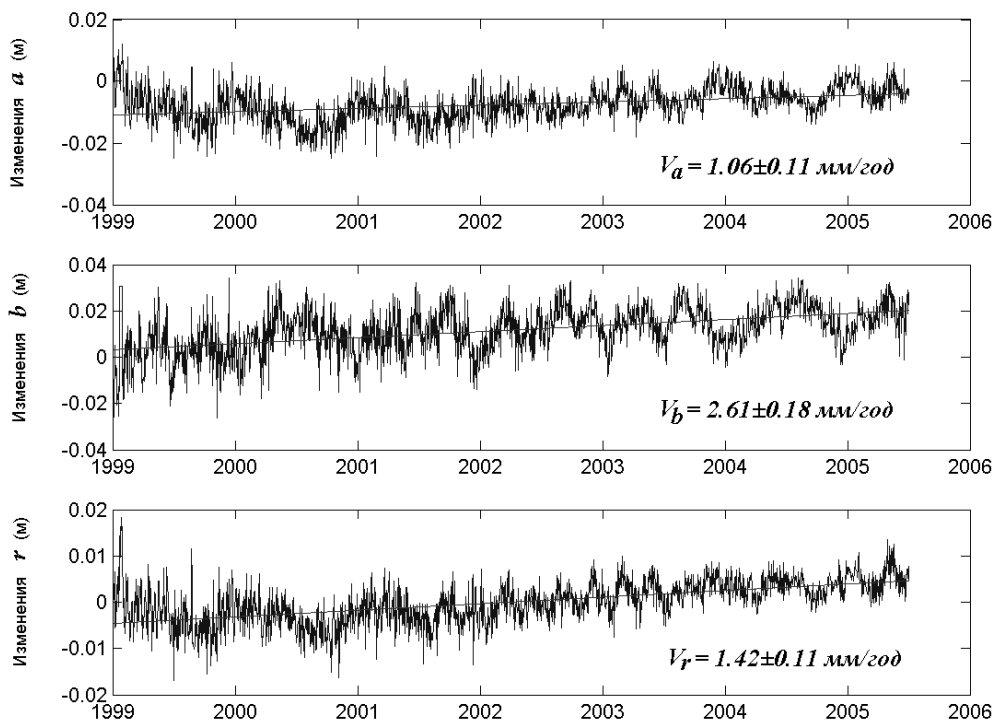


Рис. 9. Характер изменения полуосей и среднего радиуса южного полушария

Визуальное сравнение полученных графиков показывает на существование значимой взаимной корреляции изменений геоцентрических расстояний в северном и южном полушариях.

Соответствующие коэффициенты корреляции были вычислены и представлены в таблице 3.

Таблица 3. Характер взаимной корреляции характеристик северного и южного полушарий

Коэффициенты корреляции и соответствующие стандартные отклонения		
Большая полуось	Малая полуось	Средний радиус
-0.03 ± 0.02	0.17 ± 0.02	0.12 ± 0.02

Можно видеть, что малая (полярная) полуось в значительной мере коррелировано (с $r=0.17 \pm 0.02$) изменяется в обоих полушариях. Это может свидетельствовать о несовершенстве геофизической приливной модели при получении координат пунктов глобальной геодезической сети, так как именно зональный прилив имеет аналогичное поведение, а надежность используемой геофизической модели трудно объективно оценить.

Полученные результаты позволяют в большей степени склоняться к физическому объяснению наблюдаемых изменений. Вполне вероятно, что они могут быть объяснены возможным несовершенством геодинамических моделей, используемых при реализации глобальных систем отсчета «свободных» от влияния приливов. Сегодня геодезистами признается определенное несовершенство моделей океанского прилива. Атмосферный прилив пока что не учитывается при определении координат глобальных сетей. Используемые модели твердоземных приливов являются эмпирическими и вполне могут быть причиной некоторого недоучета приливных смещений на уровне долей миллиметров, что в нашем случае и наблюдается. Линейный тренд изменения масштаба земной системы отсчета, интерпретируемый другими исследователями как артефакт, на основе большего доверия данным РСДБ, чем GPS наблюдениям, на наш взгляд

может быть связан с различным влиянием прилива на разных широтах, что по-разному отражается на пунктах глобальных сетей не одинаково распределенных на поверхности Земли. Отметим, что сеть РСДБ охватывает главным образом средние широты, в отличие от сети GPS, имеющей немало пунктов также и в полярных областях.

Анализ, представленный в данной части диссертационной работы, показал, что полученные периодические изменения геоцентрических расстояний могут быть связаны с недостаточно точным учетом геофизических факторов глобальной и космической природы, таких как приливы и нутация. Поэтому окончательные выводы о конкретных причинах наблюдаемых изменений можно сделать лишь на основе гораздо более обширных, чем в рамках одной диссертации, и комплексных исследований. Так, например, теорией нутации сегодня занимаются большие научные коллективы в рамках деятельности Международных союзов астрономии (IAU) и геодезии и геофизики (IUGG). Совершенствованием теории приливов занимаются геофизические институты академии наук. Таким образом, для выработки окончательных решений о природе глобальных изменений, регистрируемых геодезическими средствами, потребуются обширные комплексные исследования, выполненные на стыке нескольких научных дисциплин, таких как геодезия, астрономия и геофизика.

В качестве заключения по главе 3, обобщая итоги собственного анализа и опубликованные данные, можно с высокой степенью вероятности предполагать, в первую очередь, методические несовершенства учета приливных влияний на положение пунктов глобальной геодезической основы. Но однозначные утверждения пока что сделать невозможно. Это обусловлено, тем, что океанические приливы сегодня моделируются еще менее надежно, чем земные. Периодические атмосферные нагрузки на земную поверхность пока что не учитываются при определении координат пунктов глобальных геодезических сетей, а их поведение также регулируется приливами. В случае анализа периодичностей в изменениях абсолютных

определений силы тяжести, наблюдаемые аналогичные изменения сегодня объясняются в первую очередь недостаточной точностью учета влияния грунтовых вод, т.е. подземной гидросферы. Все эти обстоятельства осложняют интерпретацию выявленных характеристик и требуют дальнейшего более основательного и разнопланового комплексного анализа. Имеется, как минимум, четыре основных фактора: приливы твердой Земли, океана, атмосферы и подземной гидросферы; несовершенством учета которых можно объяснить полученные изменения полуосей геометрического эллипсоида вращения.

Сегодня для получения наиболее стабильной во времени глобальной геодезической основы необходимы детальные и междисциплинарные исследования динамики твердой Земли, гидросферы и атмосферы.

В процессе работы по теме диссертации выполнены исследования и разработаны методики, обеспечивающие эффективную оценку стабильности координат глобальной геодезической основы во времени и оценку глобальных изменений формы земной поверхности, получены новые эмпирические характеристики, способствующие более ясному объяснению возможных причин наблюдаемых деформаций земной поверхности в целом.

Изучены и проанализированы современные тенденции геодезических исследований движений и деформаций земной поверхности, а также современные научные представления о глобальных процессах по данным геотектонических и геофизических исследований. Анализ слабых мест современных подходов к изучению изменений земного радиуса позволил определить главное направление исследований и разработок: совершенствование методики определения радиальных изменений на основе анализа геоцентрических расстояний пунктов глобальной геодезической ГНСС сети. Основное внимание уделено разработке новой методики определения изменений земного радиуса с использованием геоцентрических координат пунктов из состава Международной сети ГНСС, а также ФАГС России.

В процессе работы над диссертацией изучены, освоены и использованы
- современные методы матричного, корреляционного и регрессионного анализов, статистической проверки гипотез, наименьших квадратов, математического моделирования;

- современные компьютерные средства обработки и графического представления данных.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кафтан В. И., Цыба Е. Н. Оценка изменений среднего радиус-вектора пунктов глобальной геодезической сети//Геодезия и картография.-2008.-№10, с.14-22
2. Кафтан В. И., Цыба Е. Н. Оценка изменений полуосей земного геометрического эллипсоида по результатам спутниковых наблюдений в глобальной геодезической сети – Изв. вузов. Сер. «Геодезия и аэрофотосъемка».-2009.-№1.
3. Цыба Е. Н. Изучение геодинамических процессов на основе использования непрерывных спутниковых измерений в глобальных геодезических сетях// Геодезия и картография.-2007.-№2, с.49-56
4. Kaftan V., Tsyba E. Global reference frame coordinate variation as indicators of global changes and geodetic observation quality / International Conference “Electronic Geophysical Year: State of the Art and Results”, Materials of the Conference/ 3-6 June 2009. Pereslavl-Zalessky, Russia .- p.29