АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАНА АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи УДК 521.93; 528.063.1

ФАЗИЛОВА ДИЛБАРХОН ШАМУРАДОВНА

РАЗРАБОТКА НАЦИОНАЛЬНОЙ РЕФЕРЕНЦНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ УЗБЕКИСТАНА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

01.03.01 – АСТРОНОМИЯ

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Научный консультант: доктор физико-математических наук, академик Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович

Ташкент - 2018 год

СОДЕРЖАНИЕ

C	тр
ВВЕДЕНИЕ 5	
ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ	
СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ	
КООРДИНАТ РЕСПУБЛИКИ 1	6
§ 1.1. Общая постановка проблемы1	6
§ 1.2. Проблема выбора новой опорной системы координат2	8
§ 1.3. Проблема определения параметров перехода между системами координат	9
§ 1.4. Проблема установления динамической системы координат 4	8
§ 1.5. О проблеме определения нормальных высот	4
§ 1.6. Выводы 5	9
ГЛАВА П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ	
ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ WGS-84 И	
ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ СК42 ДЛЯ	
ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ 6	2
§ 2.1. Исследование метода получения высокоточных координат	
(Precise Point Positioning) 6	2
§ 2.2. Выполнение локальной привязки опорного пункта Китаб7	3
§ 2.3. Анализ существующих параметров перехода. Разработка	
методики определения параметров перехода между опорными	
системами координат 7	5
§ 2.4. Разработка программного обеспечения для определения	

параметров преобразования координат из СК-42 в WGS-84

	для территории І	Республики		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
§ 2.5.	Выводы			•••••••••••••••••	86
ГЛАВА	III.	моделиро	ВАНИЕ	OCHOI	ЗНЫХ
COCTA	вляющих вр	ЕМЕННЫХ Р	рядов для	я постро	ЕНИЯ
НАЦИО	НАЛЬНОЙ ОПС	ОРНОЙ СИСТ	Г <mark>ЕМЫ КО</mark> С	РДИНАТ	89
§ 3.1.	Исходные данны	е и метод		••••••	89
§ 3.2.	Исследование тр	енда временны	іх рядов опо	рных пункто	в93
§ 3.3.	Исследование	сезонных ком	понентов	временных	рядов
	опорных пунктон	3			99
§ 3.4.	Исследование ст	охастического	компонента	а временных	рядов
	опорных пунктон	3	••••••••••••••	•••••	107
§ 3.5.	Выводы				
ГЛАВА	IV. METO	ды уста	новлени	я сист	ГЕМЫ
НОРМА	ЛЬНЫХ ВЫСО	Г		•••••	111
§ 4.1.					
	Исходные данны	е и метод	•••••	•••••	
§ 4.2.	Исходные данны Сравнительное	е и метод исследование	методов	интерполяц	111 ции в
§ 4.2.	Исходные данны Сравнительное разработке локал	е и метод исследование вьной модели го	методов еоида	интерполяц	111 ции в 116
§ 4.2. § 4.3.	Исходные данны Сравнительное разработке локал Анализ точности	е и метод исследование выной модели го глобальных гј	методов еоида равитациони	интерполяц ных моделей	111 ции в 116 Земли
§ 4.2. § 4.3.	Исходные данны Сравнительное разработке локал Анализ точности EIGEN-6C4 и EG	е и метод исследование вной модели го глобальных гј M2008 по геод	методов еоида равитационн цезическим Д	интерполяц ных моделей цанным	111 ции в
§ 4.2. § 4.3. § 4.4.	Исходные данны Сравнительное разработке локал Анализ точности EIGEN-6C4 и EG Выводы	е и метод исследование вной модели го глобальных гј M2008 по геод	методов еоида равитационн цезическим Д	интерполяц ных моделей цанным	111 ции в
§ 4.2. § 4.3. § 4.4. 3AK J	Исходные данны Сравнительное разработке локал Анализ точности EIGEN-6C4 и EG Выводы	е и метод исследование вной модели го глобальных гј M2008 по геод	методов еоида равитационн цезическим Д	интерполяц ных моделей цанным	111 ции в
§ 4.2. § 4.3. § 4.4. ЗАКЈ СПИ	Исходные данны Сравнительное разработке локал Анализ точности EIGEN-6C4 и EG Выводы IЮЧЕНИЕ	е и метод исследование вной модели го глобальных гј M2008 по геод ОВАННЫХ Р	методов еоида равитационн цезическим Д	интерполяц ных моделей цанным	ции в 116 Земли 123 131 133 135
§ 4.2. § 4.3. § 4.4. ЗАКЈ СПИ СПИ	Исходные данны Сравнительное разработке локал Анализ точности EIGEN-6C4 и EG Выводы IЮЧЕНИЕ СОК ОПУБЛИК СОК ИСПОЛЬЗ	е и метод исследование вной модели го глобальных гј M2008 по геод СОВАННЫХ Р ОВАННОЙ ЛІ	методов еоида равитационн цезическим д АБОТ ИТЕРАТУН	интерполяц ных моделей цанным	ции в 116 Земли 123 131 133 135 141

введение

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время изучение механизмов, количественная оценка на коротких интервалах времени глобальных и региональных геодинамических явлений, являющихся индикаторами современных процессов, происходящих в теле Земли и на ее наиболее поверхности, являются важными физическими задачами, этой точки решаемыми методами космической геодезии. С зрения актуальной становится задача по созданию земной опорной системы координат и сети пунктов-реперов, относительно которых будут проводиться исследования деструктивных геодинамических процессов на миллиметровом уровне точности.

В настоящее время в мире совершенствуется технология интеграции в международную опорную систему координат ITRS (International Terrestrial Reference System) отдельных регионов и стран на основе комбинирования многолетних астро-геодезических измерений и наблюдений геодезических космических аппаратов. В этом направлении проводятся целенаправленные научные исследования, в том числе: реализация высокоточного каталога координат опорных станций, определение параметров связи между различными физическими системами, исследование трехмерных движений точек земной поверхности, развитие методов и алгоритмов совместной обработки различных систем наблюдений.

В республике большое внимание уделяется фундаментальным исследованиям геометрической фигуры Земли и ее геодинамических изменений BO времени на основе данных спутниковых измерений. Существенные результаты достигнуты и в прикладной области по созданию Фундаментальной астрономо-геодезической $(\Phi A \Gamma C),$ сети усовершенствованию методов ее построения и повышению точности координат путем внедрения новых, измерительных технологий, таких как глобальные навигационные спутниковые системы (Global Navigation Satellite

System, GNSS) и совмещения с существующими пунктами международной геодинамической сети республики (Китаб, Ташкент, Майданак и Майдантал). Однако на территории Узбекистана, расположенной в зоне активных тектонических движений земной коры до 3–5 см/год, в настоящее время действует статическая система координат СК-42, которая не удовлетворяет точности спутниковых определений. Для реализации задач, обозначенных в «Стратегии действий дальнейшего развития Республики Узбекистан» на 2017–2021 гг.,¹ необходимо повышение эффективности координатного обеспечения за счет разработки теоретических основ для дальнейшего внедрения современных инновационных спутниковых технологий и перехода к высокоточной кинематической системе позиционирования ITRS.

Данная научно-исследовательская работа в определённой степени обозначенным Постановлении соответствует задачам, В Президента Республики Узбекистан № ПП-2045 «O мерах ПО реализации «Создание Национальной географической инвестиционного проекта информационной системы» от 25.09.2013 года, Постановлении КМ РУз № 1022 «О применении и открытом использовании на территории Республики Узбекистан международных геодезических систем координат» от 26.12.2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной области деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан: IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Исследования по созданию национальных геоцентрических опорных координатных систем и определению геометрических характеристик Земли

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

ведутся в научных центрах мира и высших учебных заведениях, таких как: Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъёмки и картографии, Институт астрономии, Геофизический центр, Сибирский университет (Российская государственный геосистем И технологий Федерация), Межправительственный комитет по геодезии и картографии геодезическая (Австралия), Национальная служба (США), Центр исследования Земли (Германия), Институт национальной географии (Франция), Сианьский научно-исследовательский институт геодезии и картографии (Китай), Государственный комитет по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру, Институт Сейсмологии, Астрономический институт (Узбекистан).

По теоретическому И практическому исследованию системы геодезических параметров Земли на мировом уровне получен ряд научных результатов, в том числе: модель внутрисистемной деформации (Intra-Frame Velocity Model) применена для реализации до 2020 года на территории США четырех (NATRF2022, PTRF2022, CTRF2022, MTRF2022) координатных (Национальная геодезическая служба). Метод систем оптимального комбинирования классических астрономических и спутниковых измерений положен в основу реализации Геодезической системы координат ГСК2011 и общеземной геоцентрической системы координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11) России (Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъёмки и картографии) и Китайской координатной системы CGCS 2000 (Сианьский научно-исследовательский институт геодезии и картографии). Определение координат и скоростей опорных станций в режиме реального времени на определенную эпоху предлагается использовать в кинематической опорной системе координат Австралии GDA 2020 (Geocentric Datum of Australia GDA2020) (Межправительственный картографии, Австралия). Разработаны комитет по геодезии И вычислены скорости пунктов кинематические модели И на основе геотектонического районирования (Институт астрономии, Геофизический

центр, РФ, Институт Сейсмологии, Узбекистан). Данные глобальных моделей гравитационного поля Земли были применены для вычисления нормальных высот (Центр исследования Земли, Германия; Исламский университет, Иран; Астрономический институт, Узбекистан).

В настоящее время проводятся исследования по разработке методов интеграции международной системы ITRS на локальные области с учетом рельефных и тектонических особенностей регионов. В частности, ведутся исследования по следующим приоритетным направлениям: построение математической модели трансформации координат, включающей информацию о квазигеоиде, исследование влияния методов обработки и нагрузки внешней среды (атмосферных, гидрологических и др.) на изменение координат пунктов, построение локальной цифровой модели высот с использованием данных глобальных моделей гравитационного поля Земли.

Степень изученности проблемы. В настоящее время ведущими учеными мира, например, российскими (Г.В. Демьянов, В.П. Горобец, Г.Г. Побединский, Е.Г.Гиенко), белорусскими (Н.И.Рудницкая), австралийскими (R.Harvey, W.Featherstone), китайскими (P.Cheng, H.Wen), испанскими (L.Zurututa, M.Sevila), выполнен большой объем экспериментальных и теоретических исследований модели перехода между трехмерными правосторонними координатными системами в евклидовом пространстве. Большинство работ выполнено с использованием 7-параметрического преобразования Гельмерта для прямоугольных координат. Математическая модель использует операции переноса, поворота на углы Кардано и масштабирования и базирована на методе «известных общих точек». Однако были использованы только опубликованные параметры трансформирования в комбинации с информацией о квазигеоиде и, в то же время, не выполнена оценка их точности.

Обобщенные модели геотектонического районирования были применены при построении геоцентрических систем координат. Анализ

движения пунктов и составляющих геодинамических рядов выполнен российскими (Г.М. Стеблов, В.И. Кафтан), американскими (D. Smith, R. Dan, S. Hilla), японскими (J.Li, K. Miyashita, T. Kato, S. Miyazaki), алжирскими (S. Knelifa) учеными. Выявлено, что изменение сезонной компоненты временного ряда (3.М. Малкин) влияет на систематические ошибки при построении опорных систем координат, а модель обработки данных на стабильность опорных пунктов (J. Bogusz, A. Klos, G. Moreaux). Для территории Узбекистана на основе спутниковых измерений составлены карты современных горизонтальных и вертикальных движений (А.Р. Ярмухамедов, К.Е. Абдурахманов, К.Н. Абдуллабеков, А.В. Зубович, Л.А. Проводятся исследования по оценке смещений в режиме Хамидов). реального времени и созданию методологии прогноза землетрясений (С.С. Хусомиддинов). Однако для точной оценки современных движений региона необходима прогнозная модель временных рядов опорных пунктов, что обосновано в исследованиях австралийских (J. Haasdyk), новозеландских (G. Blick, D. Grant) ученых.

В последние годы построены локальные геоиды методом комбинирования данных гравиметрических наблюдений и уклонения отвеса со спутниковыми измерениями Австрии (R.Pail, N.Kuhtreiber, B.Wiesenhofer, B.Hofmann-Wellenhof), Германии (R.Machotka, M.Kuruc, T.Volarik) и Чехии (C.Hirt, B.Bürki, A.Somieski). До настоящего времени практически не изучены возможности применения глобальных моделей гравитационного поля Земли, таких как EGM2008, EIGEN-6C4 и спутникового GNSS построения локальной цифровой нивелирования для модели высот (В.Б.Непоклонов, А.П.Дмитренко).

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Астрономического института в рамках следующих проектов: № ФА-А17–Ф077 «Повышение точности

геодезического базиса Узбекистана, исследование низкочастотного электромагнитного излучения в ионосфере Земли с целью прогнозирования опасных тектонических явлений» (2009–2011), № А5-ФА-Ф033 «Разработка метода повышения точности высотной координатной системы на основе высокоточных GNSS данных и мониторинга F, D слоев ионосферы Земли» (2012–2014), № ФА-А5-Ф014 «Создание геодезической основы для современной GNSS сети с учетом геодинамических особенностей территории Республики Узбекистан (2015–2017).

Целью исследования является оптимизация реализации на территории Республики Узбекистан современной высокоточной национальной геоцентрической координатной системы путем интеграции международной системы ITRS, обеспечивающей эффективное комбинирование данных классических астрономических и современных спутниковых технологий.

Для достижения этой цели сформулированы следующие задачи исследования:

выбор основной системы отсчета для Республики Узбекистан при создании сети с использованием технологии глобальных навигационных спутниковых систем GNSS;

развитие методов интеграции и совершенствования национальной геоцентрической системы координат на основе глобальной опорной системы координат ITRS;

оценка точности и исследование влияния региональных рельефных факторов на территории республики на параметры трансформации между локальной государственной системой СК-42 и геоцентрической системой координат ITRS;

разработка методики и программного обеспечения для перевода координат между локальной государственной системой СК-42 и геоцентрической системой координат ITRS;

разработка модели прогнозирования значений долгопериодических, сезонных компонент временных рядов для повышения эффективности 10

использования данных и анализа геофизических, гидрологических процессов региона;

исследование точности новейших глобальных моделей гравитационного поля Земли EGM2008 и EIGEN-6C4 для развития системы нормальных высот на территории Узбекистана как альтернативы методам традиционного классического нивелирования;

разработка методов формирования локальной цифровой системы нормальных высот на основе спутниковых GNSS измерений и данных глобальных моделей гравитационного поля Земли.

Объектом исследования является современная высокоточная координатная основа и сеть геодезических пунктов-реперов, обеспечивающие эффективное использование глобальных навигационных спутниковых систем GNSS и других современных технологий.

Предметом исследования являются трансформационные модели и параметры перехода между различными физическими реализациями систем координат, временные ряды и прогнозные модели изменения координат GNSS пунктов на территории Республики Узбекистан, глобальные модели гравитационного поля Земли EGM2008, EIGEN-6C4.

Методы исследования. Для определения параметров перехода между системами СК-42 и WGS-84, выявления структуры временных рядов и построения цифровой модели нормальных высот использованы комплексные методы исследований, включающие теоретические обобщения и экспериментальные исследования с использованием математического моделирования, работу с базами данных, а также методы спектрального анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

выработаны научно-технические рекомендации по выбору и оптимальной реализации национальной геоцентрической опорной системы координат для республики;

предложена и реализована методика преобразования координатных систем с использованием астрономических определений уклонения отвеса;

установлена зависимость точности существующих и используемых на практике параметров трансформации от локальной СК-42 к геоцентрической системе координат WGS-84 от рельефа территории;

разработаны алгоритмы, математические модели и программный комплекс для пересчета координат между локальной СК-42 и геоцентрической WGS-84 системами координат для территории республики;

выработаны рекомендации по использованию метода высокоточного позиционирования для вычисления координат новых опорных пунктов спутниковой сети республики;

разработана прогнозная модель изменения координат опорных станций республики для оценки регулярных, сезонных и нерегулярных компонент, анализа тектонических, гидрологических, техногенных нагрузок;

разработана методика вычисления нормальных высот с использованием глобальной модели гравитационного поля Земли EGM2008 и GNSS измерений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

создана оптимальная методика вычисления координат новых станций государственной сети на основе применения высокоточных орбит и поправок часов спутников GNSS системы;

создана база данных плановых координат опорных пунктов с использованием астрономических определений уклонения отвеса;

разработано программное обеспечение для перевода координат из локальной системы СК-42 в геоцентрическую систему координат WGS-84;

получены модели тренда и сезонной составляющей изменения координат опорных станций республики;

выполнен анализ различных методов интерполяции для формирования локальной цифровой модели высот региона;

создана исходная цифровая модель изменений высот для территории республики;

оценены значения аномалий силы тяжести для исходных пунктов спутниковой сети республики.

Достоверность результатов исследования обосновывается применением современных методов математического моделирования, на основе которых разработаны алгоритмы и модели временных рядов для исследования влияния внешней нагрузки от окружающей среды на компоненты этих рядов, а также программного комплекса для оптимизации параметров кинематической модели региона.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований диссертации заключается в возможности применения полученных моделей для определения параметров связи между различными земными координатными системами и описания трехмерных движений точек земной коры.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что они могут быть применены при совместном уравнивании астрономогеодезической и спутниковой сети, построении модели геотектонического районирования, определении параметров гравитационного поля, а также при построении локального геоида.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по разработке методов построения национальной референцной системы координат республики:

рекомендации по оптимальной реализации опорной системы координат, выбору параметров перехода от локальной СК-42 к геоцентрической системе координат WGS-84 на территории Республики Узбекистан использованы при построении спутниковой сети в Ташкентской области и Ферганской долине (Письмо Государственного комитета Республики Узбекистан по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру №02-02-3413 от 01.05.2018 г.). Применение научных рекомендаций позволило обеспечить

надежность работы опорных станций, улучшить качество проведения измерений в режиме реального времени;

метод высокоточного позиционирования использован на станции Китаб и для выбора мест новых станций, Ташкент, Майданак и Майдантал при экспериментальной проверке функциональной модели зенитных тропосферных задержек в рамках прикладного проекта №ФА-А5-Ф016: «Создание системы оперативного мониторинга количества водяных паров в тропосфере над Узбекистаном методом GPS-метеорологии» (2015-2017) (Письмо Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1431 от 28 мая 2018 г.). Применение данной методики позволило выполнить оценку перепадов высот GNSS станций с минимальными техническими затратами;

методика определения нормальных высот и приращения ускорения силы тяжести по данным классических измерений, топографических карт и глобальных гравитационных моделей EIGEN-6C4, EGM2008 рекомендована для использования при установлении высотной системы республики (Письмо Государственного комитета Республики Узбекистан по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру №02-02-3413 от 01.05.2018 г.). Применение результатов научного исследования позволило оценить высотную составляющую национальной геоцентрической системы координат.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 19 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 36 научных работ, 10 научных статей, из них 2 в зарубежных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикаций основных научных результатов докторских диссертаций; получено 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в Агентстве интеллектуальной собственности РУз.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 165 страниц.

ГЛАВА І. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ РЕСПУБЛИКИ

§ 1.1. Общая постановка проблемы

Установление земной опорной системы координат (Terrestrial Reference Frame, TRF), задаваемой Параметрами Вращения Земли связано с проблемой движения полюса, для детального изучения которого В 1899 Г. Международной ассоциацией геодезии была создана Международная служба широты (МСШ). В первые годы деятельности МСШ движение полюса определялось по непрерывным рядам наблюдений широты на станциях Мицузава (Япония), Китаб (Узбекистан), Карлофорте (Италия), Юкайя и Гейтерсберг (США), расположенных на «международной» параллели 39°08' N. Усредненное положение истинного полюса за период с 1900 г. по 1905 г. в 1960 г. было принято за среднее положение земного полюса и названо Международным условным началом (МУН, СІО). Реальное положение МУН задавалось значением широт станций МСШ. В 1961 г. МСШ была реорганизована в Международную службу движения полюса (МСДП), а в 1988 г. – в Международную службу вращения Земли (МСВЗ, IERS), которая позднее в 2003 г. была переименована в Международную службу вращения Земли и референцных систем [1; с.29-30].

Научные работы по координатному обеспечению связаны с организацией в 1873 году и исследованиями изменяемости широт на Ташкентской обсерватории - исходного нуль-пункта всех астрономогеодезических работ в регионе [2; с.163-168]. Основной объем работ по построению астрономо-геодезической сети на территории Центрально-Азиатского региона выполнен в период 1936-1985 гг. В начале XX в. по инициативе профессоров И. И. Померанцева, Н. Я. Цингера и В. В. Витковского Корпус военных топографов впервые предпринял попытку создания единой системы триангуляций путем их совместной обработки и 16 эти работы стали основой для реализации действующей в настоящее время в качестве координатной системы в республике «Системы 1942 года» (СК-42) с началом в пункте Пулково и поверхностью относимости в виде референцэллипсоида Красовского, параметры которого были получены в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК) обработки ИЗ астрономо-геодезических измерений, произведенных в СССР, США и ряде стран Западной Европы [3; с.24-34, 4; с.11-13, 5; с.132-137]. По теоретическому определению, начало системы СК-42 близко к центру масс Земли. Ось Z₄₂ параллельна оси Z общеземной системы, ось X₄₂ определяется положением нуль-пункта принятой системы счета долгот, ось Y₄₂ дополняет систему до правой. Центр эллипсоида СК-42 совпадает с началом прямоугольной системы координат (X₄₂, Y₄₂, Z₄₂), ось вращения совпадает с осью Z₄₂, плоскость начального меридиана совпадает с плоскостью $(XOZ)_{42}$ [1; c.56]. Результаты уравнивания астрономогеодезической сети (АГС) подтвердили наличие значительных деформаций ГГС в СК-42. Общие региональные деформации на севере и востоке страны составляли 20-30 м, локальные деформации на границе блоков, а также рядов 1 класса и сплошных сетей 2 класса в некоторых случаях достигали 10 м и более [1; с.54-56, 6; с.6-16].

С 1930 по 1980 год на станции МСШ в Китабе (39°08'N) проводились научные исследования изменяемости широт и долгот классическими методами с помощью ЗТБ (Зенит Телескоп Бамберга), ЗТЛ-180 (Зениттелескоп) и ФЗТ (Фотографическая зенитная труба) [7; с.3-12, 8; с.105-106, 9; с.1-195]. В 1897 году директором Ташкентской обсерватории Померанцевым И.И. с использованием геометрического и астрономического нивелирования были выполнены работы по исследованию фигуры геоида в Ферганской долине, по своему орографическому положению представляющей собой вытянутый эллипс, окруженный горными массивами. В результате исследований впервые были обнаружены отрицательные аномалии геоида в данном районе. В этой работе впервые для определения фигуры геоида были применены дифференциальные уравнения Слудского Ф.А. и обнаружены отрицательные аномалии геоида в данном районе [10; с.76-121, 11; с.8-12]:

$$\frac{\partial \eta}{\partial X'} = \frac{\partial \xi}{\partial Y'}; \qquad (1.1)$$

$$d\zeta = \left(\frac{\partial \zeta}{\partial X'}\right) dX' + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial Y'}\right) dY', \qquad (1.2)$$

Здесь

ζ-высота геоида;

ξ, η- составляющие уклонения отвеса ν в плоскости меридиана и первого вертикала;

dX', *dY'* – дифференциалы топоцентрических горизонтных координат по меридиану и суточной параллели.

Таким образом в настоящее время для всех работ по координатному обеспечению республики используется статическая координатная основа, часть пунктов которой утрачена, неоднородна и не в полной мере отвечает своему назначению [12; с.72-73]. Однако, уступая по точности спутниковым технологиям классические астрономо-геодезические методы измерений уклонений отвеса, не зависящие от локальной системы координат, гравиметрических или высотных систем, остаются актуальными и в 21 веке и вносят свой весомый вклад в решение задачи создания как действующей, так и новой проектируемой координатной основы республики. Комбинация классических и современных методов дает информацию о закономерностях изменения уклонения отвеса от нормали и выявление долгопериодических членов разложения геопотенциала Земли и, поэтому, не теряет своей актуальности И сегодня. Совместная обработка спутниковых И астрометрических данных позволяет уточнять высотную координатную основу для построения моделей геоида или квазигеоида, особенно в районах с горным рельефом, используются для прогноза землетрясений [13; с.93-97, 14; с.1-7]. На основе комбинирования данных наблюдений уклонения отвеса 18

со спутниковыми измерениями в последние годы были построены, к примеру, модели локальных геоидов в Австрии [15; с. 3 – 14], Германии [16; с. 27–46] и Чехии [17; с. 1-12].

В последние десятилетия решение задач фундаментального координатно-временного обеспечения на новом уровне прежде всего обусловлено внедрением новых информационных и телекоммуникационных технологий, позволяющих объединять десятки и сотни инструментов, которые располагаются на разных континентах, в глобальные сети реального времени. Реализации наземных опорных систем координат (Terrestrial Reference System, TRS), представленные точными координатами сети постояннодействующих станций (Continuously Operation Reference Station, CORS), определяются с помощью методов космической геодезии как в глобальном, так и региональном масштабе, научные основы реализации которых нашли отражение в работах ученых Машимова М.М., Демьянова Г. В., Побединского Г.Г., Генике А.А., Кафтана В. И., Макаренко Н.Л., Финкельштейна А.М., Антоновича К. М., Татевян С.К. [1; с. 1-280, 5; с.1-350, 18; c.1-367, 19; c.6-11, 20; c.25-28, 21; c.23-24, 22; c.16-22, 23; c.67-70, 24; c.608-617, 25; c.1-245, 26; c. 128-136, 27; c.38-41, 28; c.1-360]. Среди зарубежных авторов — труды Altamimi Z., Boucher C., Harvey B. R., Rizos C., Hofmann-Wellenhof B. Bursa M., Torge W. [29; c.1-192, 30; c.1-129, 31; 1-332, 32; 1-415, 33; c.1-326].

Широкое использование спутниковых методов, таких как Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), высокая точность, разрешение которых, позволяют определять малые изменения в геоцентрических координатах наземных пунктов на коротких интервалах времени, стали основой для развития национальной географической информационной системы (НГИС) в Узбекистане и поставили задачу разработки основ создания и использования новой национальной открытой системы координат. Для реализации задач «Стратегии действий дальнейшего развития Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.» необходимо повышение координатного обеспечения эффективности за счет разработки основ дальнейшего внедрения теоретических для современных инновационных спутниковых технологий и перехода к высокоточной кинематической ITRS (International системе позиционирования Terrestrial Reference System) [34-36].

Спутниковые методы определения координат ГНСС в Узбекистане используются с начала 90-х годов. Станции в Китабе, Ташкенте, Майданаке и Майдантале успешно инсталлированы в рамках различных успешных международных геодезических проектов, таких как IGS (Международная служба GNSS для геодинамики), IDS (Международная служба DORIS), СНАМР (CHAllenging Minisatellite Payload) и CAWa (Вода в Центральной Азии) в период 1991-2016 годов и успешно функционируют на постоянной основе до настоящего времени [37; с.39-70, 38; с.1408-1420, 39; с. 1883-1888, 40; с.97-111] (табл.1.1, рис.1.1-1.4).

Таблица 1.1

Название	Расположение	Широта (N)	Период	Проект
		Долгота (Е)	работы	-
		Высота (<i>U</i> , м)	_	
KIT3	Китаб	39° 08′ 05″.16	1994 по н.в.	IGS
		66° 53′ 07″.61		
		622.49		
KIUB	Китаб	39° 8′ 5″.0	1991-2016 *	IDS
		66° 53′ 7″.4		
		624.4		
MADK	Майданак	38 °40′ 25″.57	2012 по н.в.	CAWa
		66° 53 '48".71		
		2551.33		
TASH	Ташкент	41° 19 ′40″.98	2001 по н.в.	CHAMP,
		69 °17′ 44″.05		IGS
		439.70		
MTAL	Майдантал	41° 59 ′ 47″.65	2014 по н.в.	CAWa
		70 °38′ 18″.03		
		1445.68		

Международные спутниковые станции в Узбекистане

*C 2016 года по техническим причинам DORIS была перенесена на новое место в Китабе (KIVC). Кроме того, станция была оборудована новым приемником GNSS REGINA (REseau Gnss pour l'Igs et la Navigation)- KITG [41; с.1-3, 42].



Рис.1.1. Сеть станций международной службы IDS



Рис.1.2 Геодинамическая сеть REGINA



Рис.1.3. Станции GNSS/REGINA и DORIS/IDS в Китабе

Таким образом, к настоящему моменту накоплен огромный массив измерений, ставший основой для установления геодинамической сети для народного хозяйства Республики Узбекистан. Эти наблюдения внесли большой вклад в республиканскую и международную службы наблюдения за движением географических полюсов Земли, службы всемирного времени и составляют неоценимый банк данных для установления национальной референцной системы координат в настоящее время.



Рис. 1.4. Станции TASH/IGS (слева) и MADK/CAWa (справа)

Первые исследования с использованием методов космической геодезии в регионе связаны с количественными оценками современных движений земной поверхности на коротких интервалах времени. С 1992 года в северной части Центральной Азии проводились измерения на международной (Германия, Киргизстан, Узбекистан, Таджикистан, США) сети GPSнаблюдений CATS (Central Asia Tectonics Sciences) (рис.1.5).



Рис.1.5 Последовательное формирование Центрально-азиатской GPS сети [43; с.75-84, 44; с.38].

Региональная сеть покрывала область от северной до восточной границы Таджикской депрессии, Северного Памира и Таримский бассейн над Ферганским бассейном, Чаткальской и Тянь-Шаньской линией и Казахской платформой. По результатам измерений сети скорость сокращения земной коры Тянь-Шаня на севере составляет ~15 мм/год [45; с. 450-453], на юге свыше 20 мм/год [46; с.42-45].

Современные подходы к подготовке к чрезвычайным ситуациям и снижению последствий стихийных бедствий, требуют получения информации о геодинамических деструктивных явления в кратчайшие сроки, и, по возможности, в режиме реального времени [47; с.10-15]. В институте Сейсмологии AH РУз проводятся исследования по выявлению морфокинематических показателей современной геодинамики Западного Тянь-Шаня на основе изучения современных движений поверхности Земли с применением ГНСС измерений [48; с.49-54]. В настоящее время на территории Узбекистана действуют также несколько десятков геодинамических полигонов различного назначения, большинство из них предназначено для изучения современных движений земной коры (СВДЗК) в различных структурах и сейсмических зонах для поиска предвестников землетрясений. После Ташкентского 1966 г. и Таваксайского 1977 г. землетрясений с целью поиска предвестников сильных землетрясений и для разработки некоторых вопросов современной геодинамической активности земной коры был организован Ташкентский геодинамический полигон, на котором, начиная с 1978 по настоящее время проводятся фундаментальные исследования по поиску предвестников землетрясений (рис.1.6) [49; с.1-130, 50; c.334-338, 51; c.168-171].

Станции (Китаб, Ташкент, Майданак) Астрономического института до недавнего времени оставались единственными постояннодействующими пунктами в республике. Другие проводимые измерения носили случайный характер, не имея научно-обоснованных рекомендаций по инсталляции, обслуживанию, определению минимального количества опорных станций. 24 До настоящего момента пока не разработана методика по развертыванию геодезической сети с учетом территориальных особенностей нашей Республики, обработке данных, получаемых с новых ГНСС станций [52; с.33-34].

В годы независимости в нашей стране в области эффективного обеспечения большое развития координатного внимание уделено явлений фундаментальным исследованиям геодинамических И периодических процессов, происходящих на поверхности и в теле Земли. В прикладном направлении по созданию сети пунктов, относительно которых проводиться все измерения движений земной поверхности, должны усовершенствованию технологии ее построения, а также по повышению точности координат путем внедрения новых, измерительных технологий, таких как глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), также достигнуты существенные результаты. Для реализации комплексных программных мер по совершенствованию координатно-временной основы Государственным комитетом по геодезии, кадастру и земельным ресурсам РУз создаётся современная геодезическая сеть, базированная на ГНСС измерениях. В ходе совершенствования геодезической сети предусмотрено создание: системы референцных пунктов (РГП), спутниковой сети 0-го класса (СГС-0), спутниковой сети 1-го класса (СГС-1). К настоящему моменту уже установлены 50 пунктов данной сети в густонаселенных районах республики для обеспечения работы в реальном режиме времени (рис.1.6). Расстояние между базовыми станциями составляет 50-70 км. Позиционирование в режиме «статика» при использовании двухчастотного спутникового приёмника будет выполняться с точностью от нескольких мм до 2 см. Позиционирование (координирование) в режиме реального времени достигнет точности 1-2 см в любой точке [53; с.207-214].



Рис.1.6. Проект геодезической ГНСС сети Узбекистана

Проводимые в республике научные исследования направлены на решение задач выбора новой системы координат и путей перехода к ней [54; с.81-84]. Проведем анализ основных направлений научных исследований и основных проблем, связанных с реализацией национальных опорных координатных систем в республике и за рубежом.

Узбекистан является полноправным членом Международной организации по стандартизации ISO (International Standard for Organization) и на текущий момент национальный стандарт по координатной основе пока отсутствует. Поэтому в работе предлагается пользоваться терминами международного стандарта, в дальнейшем адаптируя их к условиям РУз. Принципы развития национальной референцной системы Узбекистана **UzPOS** Positioning), (Uzbekistan состоящей ИЗ двух независимых компонентов: геодезической референцной системы UzGRS (Uzbekistan Geodetic Reference System) и высотной референцной системы UzVRS

(Uzbekistan Vertical Reference System) рассмотрим по схеме (рис.1.7) [53; c.207-214].



Рис.1.7. Блок – схема координатно-временного обеспечения Узбекистана

§ 1.2. Проблема выбора новой опорной системы координат

Основная задача установления новой системы координат на выбранную территорию в первую очередь связана с трансформацией между трехмерными правосторонними координатными системами в евклидовом пространстве. Общая модель перевода координат любой точки вблизи поверхности земли из одной прямоугольной системы TRS₁ в другую прямоугольную систему TRS₂ выражается следующим равенством [55; с.31-42]:

$$\vec{X}^{(2)} = \vec{T}_{1,2} + \lambda_{1,2} \cdot \vec{R}_{1,2} \cdot \vec{X}^{(1)}$$
(1.3)

 $ec{T}_{1,2}$ – вектор трансляции $\lambda_{1,2}$ – масштабный фактор $R_{1,2}$ – матрица поворота координатных осей

В практических приложениях IERS использует уравнение (1.3) в линейной форме, которое имеет 7-параметрический вид с тремя компонентами вектора переноса начала систем координат T_1 , T_2 , T_3 , масштабным фактором D и тремя углами вращения R_1 , R_2 , R_3 , соответственно и координаты вектора \vec{X}_1 в системе (1) выражаются координатами вектора \vec{X}_2 во (2) системе уравнением (1.4)

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_1 + \vec{T} + D\vec{X}_1 + R\vec{X}_1 \tag{1.4}$$

$$\vec{T} = \vec{T}_{1,2}, \ D = \lambda_{1,2} - 1, \ R = (R_{1,2} - I)$$
 (1.5)

$$T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}, R = \begin{pmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{pmatrix}$$
(1.6)

I- единичная матрица.

В уравнении (1.4), обычно, при разнице между началами систем координат около 100 м значениями величин ~10⁻⁵ масштабного фактора и ориентации

систем координат можно пренебречь. Т.к. вектора $\vec{X}_1, \vec{X}_2, T, D$ и *R* являются функциями времени, дифференцируя по времени выражение (1.4) получим:

$$\dot{\vec{X}}_{2} = \dot{\vec{X}}_{1} + \dot{\vec{T}} + \dot{\vec{D}}\vec{X}_{1} + D\dot{\vec{X}} + \dot{\vec{R}}\vec{X}_{1} + R\dot{\vec{X}}_{1}$$
(1.7)

Т.к. величины D и R порядка 10⁻⁵, то первое слагаемое суммы -изменение вектора \vec{X} составит около 10 см за 100 лет. Составляющие суммы \overrightarrow{DX}_1 и \overrightarrow{RX}_1 также пренебрежительно малы. Поэтому уравнение примет вид:

$$\dot{\vec{X}}_{2} = \dot{\vec{X}}_{1} + \dot{\vec{T}} + \dot{\vec{D}}\vec{X}_{1} + \dot{\vec{R}}\vec{X}_{1}$$
(1.8)

Уравнение (1.8) является фундаментальным уравнением для перевода между различными земными опорными системами координат, которые должны быть теоретически описаны и реализованы сетью пунктов. Поскольку понятие координатной системы является идеализированной абстракцией, физический материализацией и их реализацией является опорная система (Reference Frame) или датум (Datum). Датум определяет начало и ориентацию координатной системы на определенную эпоху обычно через сеть определенно выбранных координат принимая станций. Применение в течение долгого времени инструментов различного уровня сложности для определения фигуры Земли привело к принятию различных видов датумов.

Реализацию, использование и внедрение в практику идеальных международных земных (ITRS) систем отсчета и обеспечение мирового научного и технического сообщества параметрами ориентировки Земли (Earth Orientation Parameters, EOP) сегодня координирует Международная служба вращения Земли (IERS). IERS работает под эгидой Международной (IAG) взаимодействии ассоциации геодезии BO с Международным астрономическим союзом (IAU) и объединяет данные различных центров анализа техник спутниковых геодезических методов. В IERS принята геоцентрическая прямоугольная система с началом в геоцентре и направлением главной оси на полюс вращения Земли (International Terrestrial) Reference Frame, ITRF). Специальный центр ITRS, организованный для обслуживания сети станций, отвечает за организацию локальной связи, качество наблюдений. На сегодняшний день в рамках IERS работают 3 аналитических центра комбинирования данных различных спутниковых технологий, включая немецкий геодезический исследовательский институт (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)), Институт национальной географии Франции (Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN)) и Лабораторию реактивного движения в США (Jet Propulsion Laboratory (JPL), являются ответственными за реализацию ITRF [56; с.6-147].

Для установления земной системы координат используются различные технологии, такие как глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS), радиоинтерферометры со сверхдлинными базами (VLBI), лазерная локация искусственных спутников Земли (SLR) и Луны (LLR), доплеровские спутниковые системы типа DORIS. При этом каждая вносит определённый вклад в её построение. Например, начало земной системы координат определено по лазерным наблюдениям искусственных спутников Земли, масштаб - по VLBI и лазерным наблюдениям, ориентация - по совокупности данных всех измерений [24; с.609-610, 30; с.31-35].

Координаты точек в данной системе, закрепленных на земной поверхности, подвергаются только малым тектоническим и приливным деформациям. Каталоги координат пунктов ITRF вследствие непрерывного совершенствования сети и геодинамических процессов периодически обновляются на заданные эпохи. В настоящее время на официальном сайте доступны для загрузки результаты в реализациях ITRF-94, ITRF-96, ITRF-97, ITRF-2000, ITRF-2005, ITRF-2008. Последняя версия ITRF2014, вышла 21 января 2016 года реализована по данным 1499 станций, 975 из них совмещены с другой техникой, причем 10% - 2,3, или 4 геодезических инструментов [57; с.1-19, 58; с.292-297] (рис.1.8).



Рис.1.8. Сеть станций пунктов VLBI, SLR и DORIS систем, использованная для версии ITRF2014 [59; с.6111]

В ITRF для опорных пунктов приводятся их прямоугольные координаты (X,Y,Z) и скорости по соответствующим координатным осям Vx, Vy, Vz, которые обусловлены движением тектонических плит. Перечень пунктов утверждается через определенный интервал времени (несколько лет). Общее количество измерений для версии ITRF2014 составило 3542 (203 VLBI наблюдений, 181 SLR, 222 DORIS, 2936 GPS) [58; с. 292-297]. Точность современных измерений настолько высока, что позволяет измерять скорость перемещения пунктов и движения литосферных плит на коротких интервалах времени (табл.1.2).

Сравнительные данные характеристики точности определения параметров ITRF97[60; с.40-48, 61; с.18] и ITRF2014 [57; с.4-17]

	ITRF97	ITRF2014	Параметр				
Начало координат	~ 20 мм	~ 1.9 мм	х,у				
	~ 40 мм	~ 2.4 мм	Z				
	2.10-9~ 12 мм (на						
Масштаб	поверхности	1.37·10 ⁻⁹ мм					
	Земли						
Отдельные решения							
	3-5 мм	4.80 мм	РСДБ				
Координаты:	4-20 мм	5.02 мм	Лазер. дальн.				
σ (ср.кв.ошибка) 3-8 мм		2.30 мм	GPS				
	25-30 мм	2.62 мм	DORIS				

Глобальные системы координат в виду ограниченного количества пунктов, их реализующих не могут быть использованы при решении задач науки и экономики той или иной страны [62; с. 9-21, 63; с.76-94]. Использование прецизионной космической геодезической техники, в частности Глобальной Системы позиционирования (GPS), представило количественные оценки, подтверждающие концепцию глобальной тектоники, горизонтальных движений литосферных плит И ИХ взаимосвязь c динамическими процессами внутри и на поверхности Земли и предложены различные решения обеспечения геодезического контроля тектонических движений [64; с.46-52, 65; с.58-61]. В то время как глобальная система координат ITRF обеспечила масштабное построение и стало частью мониторинга деформаций, в рамках ограниченных территорий, стран или тектонических плит наметилась тенденция построения национальных опорных систем координат, обеспечивая тем самым условие

«фиксированных плит». Большинство высокоразвитых стран, имеющих значительные территории, принимая активное участие в международных проектах и программах по созданию единой общеземной геоцентрической координат, создают также национальные (государственные) системы координат, ориентированные сохранение развитие системы на И геодезического и картографического потенциала, уже созданного к этому (рис.1.9). Изучение времени опыта ПО установлению современных национальных систем координат показывает, что именно ITRS принимается в качестве исходной, а национальные референцные системы координат являются ее реализацией на определенную эпоху.



Рис.1.9. Национальные пространственные геоцентрические системы координат [63; с.76-94]

Научные и практические работы по созданию национальных геоцентрических систем координат и уточнению системы геодезических параметров Земли ведутся в научных центрах мира и высших учебных заведениях. В настоящее время проводятся научно-исследовательские работы по построению национальных референцных систем координат, в частности ведутся исследования ПО следующим приоритетным направлениям: уточнение системы геодезических параметров Земли, включая параметры, определяющие локальный эллипсоид, координаты и скорости пунктов, закрепляющие единую геоцентрическую систему координат, модель гравитационного поля Земли, модель высот геоида (квазигеоида) над общим эллипсоидом; параметры единой земным связи геоцентрической системы координат с другими системами координат. Огромный интерес для исследователей в этой области науки представляет создание новой геоцентрической системы координат с максимальным сохранением накопленного потенциала астрономо-геодезических данных, исследование влияния региональных экзогенных факторов на определяемые параметры, исследование квазипериодических компонент временных рядов пунктов.

Международной службой GPS для геодинамики (International GPS Service for Geodynamics, IGS), координаты которых первоначально получены в системе координат WGS-84, определялись эфемериды спутников GPS. Предшественником WGS-84 является система координат NAD 27, созданная в США в 1927 г. с использованием данных астрономо-геодезических, гравиметрических и нивелирных сетей Северной и Центральной Америки. Система основана на эллипсоиде Кларка 1866 с параметрами, а = 6 378 206 м; α= 1:295,0. Начальный пункт расположен в Мидс-Рэнч, штат Канзас (В = $+39^{\circ}13'26,7"$; L = $-98^{\circ}32'30,5"$). Эта координатная основа прослужила почти 60 лет и в 1983 г. была заменена на систему координат NAD 83. Геоцентрическая координатная система WGS-84 получена первоначально только с помощью спутников, без связи с данными длинно-базисной интерферометрии, и представлена на земной поверхности в виде однородной глобальной сети с точностью координат пунктов 1-2 м. Система координат неоднократно уточнялась и с 2005 г. используется версия WGS-84 (WGS84 G1762), отличающаяся глобальной согласованностью порядка 10 см [5; 34

с.137]. В настоящее время на территории США действует геометрическая система, включающая 3 опорные системы: NAD 83(2011), NAD 83(PA11) and NAD 83(MA11). По данным Национальной геодезической службы США, ответственной за обслуживание данной системы, к 2020 году будут введены, вместо старой, сразу 4 системы координат: North American Terrestrial Reference Frame of 2022 (NATRF2022), Pacific Terrestrial Reference Frame of 2022 (PTRF2022), Caribbean Terrestrial Reference Frame of 2022 (CTRF2022), Mariana Terrestrial Reference Frame of 2022 (МТRF2022). Координаты для каждой из этих систем будут фиксированы на момент времени t_0 и на момент времени Зависимая от времени t_0+dt вычисляться относительно пунктов сети IGS для каждой плиты независимо. Вычисленные таким образом и зависящие от момента времени, координаты обеспечат пространственную стабильность системы координат в областях континента, где движение тектонических плит характеризуется вращательными движениями. Скорости, вызванные между плитными деформациями, горизонтальными движениями, обусловленные изостатическим равновесием вертикальные движения И предложено определять согласно внутри плитной модели скоростей (Intra-Frame Velocity Model, IFVM), которая позволит сравнить значения скоростей через долгие промежутки времени [66; с.1-32].

Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463 общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11) установлена в качестве государственной системы координат для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач. Данная система принята на основе уточнения государственной геоцентрической системы координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.02) выполнено в 2011 году (ПЗ-90.11) в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъёмки картографии с большого И использованием объема высокоточных измерений ГЛОНАСС/GPS с пунктов КГС и ряда пунктов сети IGS. На земной поверхности система ПЗ-90 закреплена 33 35

постоянными пунктами космической геодезической сети (КГС), в основном, расположенными на территории бывшего Советского Союза, из них 7 пунктов расположены в Антарктиде [62; с.9-21, 63; с.76-94, 67; с.6-16]. Российская общеземная система координат ПЗ – 90 является аналогом общеземной системы координат WGS – 84, базирующейся на спутниковой системе NAVSTAR (США). Эти две системы в пределах точности их определения имеют одни и те же параметры и рекомендованы к практическому использованию в международной навигации. Численные значения элементов ориентирования координат СК – 42 относительно ПЗ – 90 соответственно составляют [5; с.138]:

- координаты центра референц-эллипсоида относительно центра масс Земли: $dX_0 = +25$ м; $dY_0 = -141$ м; $dZ_0 = -80$ м;

- развороты осей координат: $W_x = 0.00^{//}$, $W_y = -0.35^{//}$, $W_z = -0.66^{//}$;

- масштабный коэффициент: dm = (0.00 ± 0.25)*10⁻⁶.

При установлении систем координат ПЗ-90, WGS-84 и ITRF использовались одни и те же теоретические положения. Однако при практической реализации этих положений между указанными системами координат обнаруживаются небольшие расхождения, которые могут быть объяснены различием в составе и объеме использованной измерительной информации и методическими различиями. Следует отметить, что до недавнего времени окончательных значений параметров связи систем координат ПЗ-90 и WGS-84 не существовало. Разворот ПЗ-90 относительно системы координат WGS-84 вокруг оси Z составил 0,2", что соответствует сдвигу в долготном направлении на территории России на 3-6 м.

Примеры национальных референцных систем координат других стран приводятся в табл.1.3 [63; с.76-94, 68; с.13-16, 69; с.12-17]
Страна	Система
Россия	ГСК-2011
США	NSRS (National Spatial
	Reference System)
Канада	North American Datum of 1983
	(NAD83).
Австралия	Geocentric Datum of Australia
	GDA94
Европа	ETRS89 (European Terrestrial
	Reference System)
Казахстан	KazTRF — Kazakhstan
	Terrestrial Reference Frame

Национальные опорные системы координат некоторых стран

Китайская геодезической системы координат (CGCS 2000 – China Geodetic Coordinate System 2000) принята в 2008 году. Следует отметить 3 особенности выбора структуры и уравнивания данной сети. Во-первых, сеть включает 28 постоянно действующих ГНСС станций с точностью взаимного положения 3 мм, интегрированных в международную геодинамическую сеть и уравненных совместно для более точного определения соответствия между глобальной геоцентрической системой. Во-вторых, существует расширенная национальная контрольная GPS сеть, включающую 6 подсетей с 2500 пунктов с точностью взаимного положения 3 см для обеспечения контроля опорной системы. И, в-третьих, астрономо-геодезическую сеть, включающая около 50 000 пунктов со средними расстояниями между ними около 22 км и уравненная совместно с GPS, дополняет вышеуказанные сети [70; с.269-271]. Метод оптимального комбинирования данных (*optimal data fusion method*), предложенный при реализации CGCS 2000, позволил уменьшить эффект влияния ошибок датума, систематических ошибок и избыточных величин в отдельных сетях [71; с. 2714–2721].

В работах [72; с.25-29, 73; с.115-120] австралийскими учеными предлагается реализация 3 видов опорных систем:

-статических, для которых координаты определенных объектов будут фиксированными;

-динамических, в которых координаты определяются в режиме реального времени и отражают движение в глобальном контексте;

- полу-динамических референцных систем, координаты которой будут вычислены на определенную эпоху, а динамику должна отражать определенная модель.

С 1 января 2000 года система GDA94 являлась официальным стандартом геодезических данных, принятым на национальном уровне Межправительственным комитетом по геодезии и картографии Австралии ICSM (Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping). Координаты в GDA94 были представлены в виде эллипсоидальных геодезических широт и долгот, и прямоугольных координат (X, Y, Z). GDA заменила Австралийскую геодезическую систему координат (Australian Geodetic Datum, AGD), действовавшую с 1966 года. Несмотря на то, что AGD наилучшим образом описывала земную поверхность в регионе, система имела существенный недостаток: расхождение между началами систем координат GDA и AGD составляет примерно 200 метров; примерно на такую же величину различались и координаты точек на поверхности Земли. Действующая в настоящий момент в Австралии система GDA94 является статической системой координат на основе Международной земной системы координат ITRF 1992 года (ITRF92) на эпоху 1 января 1994 года. Однако с течением времени, разница между реализациями ITRF и WGS84 и системой GDA94 влияния тектонических лвижений Австралийской вследствие плиты (примерно 70 мм в год в направлении северо-северо-восток), составила 1.5 метра в 2015 году [74; с.85-102, 75; с.189-199].

Австралийские ученые Haasdyk J. Donnelly N. и др. предлагают при переходе к новой динамической системе учитывать такие факторы как [74; с.85-102, 75; с.189-199, 76; с. 72-85, 77; с.53-62]:

- с учетом того, искажения GDA94 по горизонтальным координатам достигли 300 мм предложено выполнять уравнивание через привязку координат пунктов к локальным наземным контрольным данным;

-поступательно-вращательное движение австралийской тектонической плиты величиной 7 см/г, результатом которого является разница между GDA94 и ITRF/WGS84 в 1.5 метра, влияет на точность определения опорного базиса с ошибкой 7 мм на каждые 30 км в течение 20 лет;

- величина вертикального смещения ITRF92, на котором базируется GDA94, относительно ITRF2008 составила 9 см;

 деформация земной поверхности проявляется не только вследствие тектонических процессов, но и оказывают влияние антропогенные факторы (добыча полезных ископаемых, воды и др.);

Геоцентрическая система координат Австралии GDA 2020 (Geocentric Datum of Australia GDA2020) – новая официальная версия опорной системы координат страны. GDA2020 в конечном итоге заменит систему координат GDA94 и более старые системы координат, такие как Австралийский геодезический базис 1966 и 1984 (AGD66 и AGD84) [78; с. 3-20].

§ 1.3. Проблема определения параметров перехода между системами координат

спутниковой ГНСС-технологии необходимо При использовании выполнить преобразование из глобальной геоцентрической системы WGS-84 к локальным системам (например, СК-42). На практике можно выделить различное число вопросов, связанное с процессом преобразования: определение точной функциональной модели для связи одной опорной системы другой; исследование точности параметров перехода, С

используемых при расчетах; являются эти параметры перехода "универсальными" для использования в других сетях?

Общий классический алгоритм необходимых на практике преобразований можно представить в виде схемы на рис.1.10 [33; с. 229-251]:

WGS84	Локальн	ые системы	Примечание
$(X,Y,Z)_{GPS}$	«общие точки»	(Х,Ү,Ζ)локал	Совместное уравнивание
			астрономо-геодезических и
			спутниковых измерений.
			Определение параметров
			трансформации через
			«общие точки»
$(X,Y,Z)_{GPS}$	7 параметров	(Х,Ү,Ζ)локал	Известные параметры
		¥	перехода. Преобразование
		(В, L, H)локал	в системы координат
		↓	пользователя
		(х,у)локал	(эллипсоидальные или
			плоские прямоуг.
			координаты в проекции
			Гаусса-Крюгера)

Рис.1.10 Преобразование GNSS данных в локальные системы

Методы преобразований координат и их приращений из одной системы в другую, а также порядок использования численных значений элементов трансформирования систем координат установлены ГОСТом Р 51794 – 2008 [79; с.1-14]. Преобразование прямоугольных координат с использованием операций переноса, поворота на углы Кардано и масштабирования, используемое чаще всего на практике, представляется 7-параметрическим преобразованием Гельмерта или Евклидовым преобразованием подобия [33; с. 229-251, 79; с.7]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{CK-42} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m & \omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & m & \omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84}$$
(1.9)

здесь

 $T_X, T_{y,} T_z$ – смещение вдоль осей X, Y,Z $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ – углы поворота вокруг осей X,Y,Z m – масштабный фактор

Исследователи отмечают, что высокая точность трансформирования достигается только при преобразовании точных глобальных координатных систем. Что же касается локальных или референцных систем, то параметры преобразования определяются по ограниченной выборке опорных точек и не могут учитывать локальных нелинейных искажений в сетях, так что точность перехода, например, от CK-42 к WGS-84 оценивается в 5 - 7 м [1; с.66, 80; 17-21, 81; с.299-310].

В большинство современных публикаций рассматривается только вышеупомянутое классическое 7-параметрического преобразование [28; с.279-296, 82; с. 105-125, 83; с.9-13, 84; с.1-15]. Выполненные работы по преобразованию между системами координат базированы на методе «известных общих точек» и имели цель сохранить геометрию (исследования только масштабного фактора) традиционной сети. В настоящее время ведущими учеными мира выполнен большой объем экспериментальных и теоретических исследований для оценки параметров перехода между локальной И геоцентрической системами координат. Надежность определения параметров связи систем координат на основе «общих точек» зависит от глобального распределения исходных пунктов и точного определения координат в обеих системах. Для случая двух глобальных систем координат, как например для ПЗ-90 и WGS-84, точность достигается

за счет обработки достаточно больших объемов высокоточной спутниковой траекторной информации за продолжительный период времени наблюдений и использованием информации о точных эфемеридах спутников [80; с.17-21, 85; с.6-7, 86; с.7-16]. Например, российские (Демьянов Г., Горобец В., Побединский Г.) ученые определили параметры перехода от системы СК-95 к новой государственной геоцентрической системе ГСК-2011. Данные станций международной сети IGS, использующие ГЛОНАС наблюдения. системы были использованы для установления координат. Однако, открытыми остаются пока вопросы выбора места опорных пунктов, учет изменения координат во времени. Система ГСК-2100 реализована на данный момент с использованием единой региональной геотектонической модели [63; с. 76-94]. В работах Гиенко Е.Г., Сурнина Ю.В. из Сибирского государственного университета геосистем и технологий предлагается расширенная математическая модель трансформирования координат, включающая опубликованные параметры трансформирования и параметры математической модели локального квазигеоида [87; с.321-324, 88; с.1-193]. В работе испанских исследователей Zurututa L. и Sevilla M. предложен выполнять переход от классических сетей к спутниковым с помощью метода Прокруста - математического моделирования (интегрирования) одной конфигурации в другую и создания меры соответствия, поиском изотропной дилатации, путем фиксации сдвига и поиском наилучшего отражения и поворота соответствия одной конфигурации другой. Преимуществами данного способа являются отсутствие итераций и линейных моделей, оценка вертикальных смещений двух систем [89; с.48-55]. Для территорий своих стран также выполнили уравнивание И определили параметры трансформации белорусские (Рудницкая Н.И.), китайские (P.Chen, H.Wen), австралийские (R.Harvey, W. Featherstone), ученые [90; с.1-70, 70; с. 269-271, 82; с.105-125, 91; с.1-12, 92; с.43-44]. В работах, кроме уже описанных методов учета скоростей пунктов при переходе [93; с.34-38, 94; с.261-272, 95; с.76-90, 96; с.23-32, 97; с.1-8], рассматриваются решение уравнений 42

коррелированных систем. Предлагается методика определения параметров трансформации в три этапа: выбор центра системы и регуляризация коллинеарных векторов, определение масштабного коэффициента независимо и оценка параметров трансформации прямоугольных систем. Для территории нашей республики такие работы пока не выполнены.

На сегодняшний день для территории Республики нет практической реализации в виде каталогов координат пунктов в WGS-84. Для перехода от WGS-84 к системе CK-42 в геодезической практике используются различные современные программные комплексы (Mapinfo, ArcGIS и др.) с наборами параметров преобразования приведенными в табл.1.4.

На рис.1.11 представлены результаты преобразования от СК-42 к WGS-84 по параметрам ГОСТ51794-2008, определенные на всю территорию земной поверхности по [97; с.1-8].



Рис.1.11. Разница значений координат между WGS-84 и СК-42 для всей земной поверхности

Используемые в республике параметры трансформации от WGS-84 к СК-42

№	C	сдвиг (м)	Уг	ты Кар	дано	Mac	Источник	Область	Точнос
							штаб		использова	ть (м)
									ния	
	T_X	T_Y	T_Z	<i>Ю</i> Х, ″	<i>Ю</i> ү, ″	WZ, "	т			
							×10 ⁻⁶			
1	23.9	-	-	0	0.35	0.82	-0.12	ГОСТ	Российская	Нет
	2	141.	80.9					51794-	Федерация	оценки
		27						2008		
2	27	-	-	0	0	-2.686	0.226	ERDAS	Азербайджа	10
		135	84.5			×10 ⁻⁶		IMAGINE	Н	
								Пулково		
								1942		
3	24	_	-94	-9.69	1.21	6.3×10⁻	1.1	ERDAS	Восточная	2
		123		×10 ⁻⁷	×10 ⁻⁶	7		IMAGINE	часть	
								System	Германии	
								42/83		
								(Пулково)		
4	25	-	-	0	-0.35	-0.736	0	EPSG::158	Страны	4.5
		141	78.5					65	СНГ,	
									включая	
									Узбекистан	

[79; c. 1-16, 98]

Вопрос пересчета координат из системы координат 1942 года в систему координат WGS-84 года и обратно представляется решенным для людей, знакомых только с теоретическими аспектами данной темы. То есть существуют официально утвержденные в ГОСТ Р 51794-2008 «...СИСТЕМЫ КООРДИНАТ...» параметры, описывающие вышеупомянутые системы координат, есть четкие математические формулы, позволяющие выполнить пересчет. Однако на практике все получается далеко не так четко и 44

На сегодняшний день для территории Республики прозрачно. нет практической реализации в виде каталогов координат пунктов, координаты которых были определены в WGS-84. Большинство геодезических работ выполняются до сих пор и использованием карт, использующих СК42. Использование опубликованных преобразования параметров не удовлетворяет требованиям по следующим причинам: необходимо знание абсолютных координат пунктов в обеих системах, оценки точности на уровне сантиметра параметров перехода еще не выполнено [88; с.1-193; 99; с.17-24]. Предварительная оценка разности (рис.1.12) координат в двух системах была работах [100; с.29-31, 101; с.34] с использованием В выполнена высокоточных измерений пунктов сети CATS [46; с.42-45] (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Станция	год	Х, м	Ү,м	Ζ, м
ADRA	1994	1652307.5677	4545274.9969	4146683.0298
ALMA	1994	1674557.1658	4534281.0350	4148520.7333
ANGR	1994	1640083.9837	4526139.2790	4171837.0609
BAYS	1994	1958251.0519	4623669.2850	3921413.8385
BESH	1994	1622900.7485	4588956.3914	4108518.9497
CICR	1994	1661145.2462	4481243.6823	4210705.7883
DENA	1994	1889005.0342	4647454.5331	3926278.5895
DJAN	1994	2029227.5263	4580514.3375	3935413.0616
KFIR	1994	1900244.5779	4672297.4482	3891634.3801
KITB	1994	1944945.4136	4556652.1873	4004325.9721
MADA	1994	1953420.7349	4588929.5383	3966715.8612
OKTO	1994	1851149.1644	4506801.8654	4102857.4918
SANZ	1994	1821963.1850	4565890.5400	4053125.4810
SARY	1994	1518828.1258	4592.6811917	4143650.4596

Прямоугольные координаты наблюдательных пунктов сети CATS [46; с.42]



Рис. 1.12 Разность координат между СК-42 и WGS-84 для пунктов сети САТS

Результаты предварительных вычислений показали, что разность между двумя системами координат достигает 130 метров по долготному компоненту и обусловлена, вероятней всего долготным дрейфом региона.

Возможны также значительные расхождения между математическими моделями, предложенными в ГОСТ, и реальными значениями координат иззначительных деформаций в СК42. Все это означает за буквально можем вычислить каталожные следующее: ΜЫ не значения пунктов триангуляции в WGS-84 на основании каталогов этих же пунктов в СК-42 (и наоборот), какие бы параметры преобразования мы не использовали. Как видно из приведенных в табл. 1.4 данных, существуют различия между стандартами ГОСТ и программными реализациями. Поэтому определение условий применения существующих и математических моделей для вычисления новых наборов преобразования для территории Республики важная задача в настоящее время.

В работ необходимость практике геодезических возникает В применении картографической проекции Гаусса – Крюгера для увеличенных Решение проблемы по долготе меридианных 30H. выполняется 46

преимущественно путем сохранения дополнительных членов в рядах для определяемых величин. Так, для вычисления плоских прямоугольных координат x и y по заданной геодезической широте В и разности долгот l=L-L₀ применяются разложения. В ряде исследований других авторов предлагается методика исследования точности формул путем построения остатка ряда с помощью бесконечно малых величин одного порядка малости. Выполнен анализ алгоритмов по точности для вычисления прямоугольных координат x, y проекции Гаусса – Крюгера для увеличенных по долготе меридианных зон в работах [102; с.14-18, 103; с. 10-19, 104; с. 1-264, 105; с.80-83].

Для получения плоских прямоугольных координат (х, у) должны использоваться данные о локальном эллипсоиде территории. В ГОСТ [79; c.8-9] формулы перехода представлены выражением, с вычисленными коэффициентами для эллипсоида Красовского, что ограничивает их использование. Существуют различные картографические проекции, но, в общем, функция перехода к плоским координатам зависит только от широты и долготы точки и формы (a, b) эллипсоида и представлена выражением [33; c. 234-235]:

$$y = B(\varphi) + \frac{1}{2}N\cos^2\varphi tl^2 + \frac{1}{24}N\cos^4\varphi t(5 - t^2 + 9\eta^2)l^4 + \dots$$

$$x = N\cos\varphi l + \frac{1}{6}N\cos^3\varphi (1 - t^2 + \eta^2)l^3 + \frac{1}{120}N\cos^5\varphi (5 - 18t^2 + t^4)l^5 + \dots$$
(1.10)

 $B(\varphi)$... длина меридиана от экватора

 N ... радиус кривизны первого вертикаля

 $t = \tan \varphi$... вспомогательная величина

 λ_0 ... долгота центрального меридиана

 $l = \lambda - \lambda_0$... разность долгот

 $\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$... вспомогательная величина

 $B(\varphi) = \alpha [\varphi + \beta \sin 2\varphi + \gamma \sin 4\varphi + \delta \sin 6\varphi + ...]$

$$\alpha = \frac{a+b}{2} \left(1 + \frac{1}{4}n^2 + \frac{1}{64}n^4 + ...\right)$$

$$\beta = -\frac{3}{2}n + \frac{9}{16}n^3 - \frac{3}{32}n^5 + ...$$

$$\gamma = \frac{15}{16}n^2 - \frac{15}{32}n^4 + ...$$

$$\delta = -\frac{35}{48}n^3 + \frac{105}{256}n^4 - ...$$

(1.11)

$$n = \frac{a-b}{a+b} \tag{1.12}$$

$$\varphi = \varphi_f - \frac{t_f}{2N_f^2} (1 + \eta_f^2) x^2 + \frac{t_f}{24N_f^4} (5 + 3t_f^2 + 6\eta_f^2 - 6t_f^2 \eta_f^2) x^4 \dots$$

$$l = \frac{1}{N_f \cos \varphi_f} x - \frac{1}{6N_f^3 \cos \varphi_f} (1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) x^3 \dots$$
(1.13)

$$\varphi_f = \overline{y} + \beta \sin 2\overline{y} + \gamma \sin 4\overline{y} + \delta \sin 6\overline{y}$$
(1.14)

$$\overline{y} = \frac{y}{\alpha} \tag{1.15}$$

Коэффициенты α, β, γ, δ зависят от параметров эллипсоида и должны быть определены для конкретной территории.

§ 1.4. Проблема установления динамической системы координат

В работах известного геодезиста Машимова М.М., посвященным вопросам и перспективам создания координатных систем и сети пунктовреперов, относительно которых будут проводиться измерения, отмечалось, что со временем геодинамические аспекты станут определяющими при выборе пунктов такой сети и в разработке программ астрономогеодезических и гравиметрических работ. Все работы должны будут выполняться на определенную эпоху с учетом движения полюсов, вариации скорости вращения Земли, движения точек земной поверхности и других эффектов. Для изучения динамики Земли потребуются высокоточные измерения, частоту, продолжительность и пространственный размах которых необходимо устанавливать так, чтобы наилучшим образом оценить все геодинамические явления [19; с.6-11, 20; с.25-28, 106; с.1-22, 107; с.206-212].

Территория Узбекистана расположена между 37° 11′ и 45° 36′ с.ш и 56° и 73° 10′ в.д. в области перехода от горных массивов Тянь-Шаня к Туранской платформе, в зоне взаимодействия нескольких крупных литосферных плит - Европейской, Азиатской, Иранской, Индийской и Китайской. По работ результатам специалистов Государственного Геологического музея РАН им. Вернадского характер Гатинского Ю.Г. и Рундквист Д.В движений, определенный с помощью GPS измерений, свидетельствуют о том, что Евро-Азиатский континент не является монолитным тектоническим блоком, а состоит из твердой Северо-Евразийской плиты, окруженной вдоль юго-восточной и восточной границы зоной, состоящей из нескольких десятков микроплит [108; c.3-20]. Структурно-тектонические исследования Уломова В.И. Туранской плиты показали, что вероятно более 200 км на западе от Тянь-Шаня наблюдается реактивация-оживление позднепалеозойских разломов и что Туранская плита в настоящее время активно деформируется [109; с.14-30, 110; с. 18-28]. Кроме того, Туранская плита и Казахский щит активно вовлекаются в тектоническую активизацию региона [111; с.91-98]. Центральный Тянь-Шань, особенно территория, расположенная к западу от Таласо-Ферганского разлома, характеризуется интенсивными вращательными движениями в Скорости направлении против часовой стрелки. горизонтальных перемещений здесь изменяются от 4-5 до 0.5 мм/год и быстро уменьшаются как в северо-западном, так и в западном направлениях. Наблюдается большая величина скорости перемещения блока земной поверхности между Таласо-Ферганским и Восточно-Ферганским разломами [109; с.14-30]. В конце прошлого столетия в институте Сейсмологии АН РУз А.Р. Ярмухамедовым,

Д.Х. Якубовым была составлена карта молодых и современных движений Узбекистана в масштабе 1:1000000 на основе компилятивных и собственных геолого-геоморфологических материалов с использованием данных геодезических измерений, полученных на геодинамических полигонах Узбекистана, Хамидовым Л.А. составлена карта территории Восточного Узбекистана в масштабе 1:500000 [112; с.88-91].

Для дальнейшего уточнения кинематической модели данного региона необходимо проведение новых измерительных кампаний и построение сети с последующей реализацией динамической координатной основы является первоочередной задачей настоящего времени. Зубович A.B., А.Р.Ярмухамедов, С.И., Ш.С.Ражабов Кузиков исследуя связи пространственно-временных тенденций современных движений земной с сейсмичностью, показали, ЧТО Западный Тянь-Шань поверхности представляет собой сложную геодинамическую систему. Проведением исследований современными методами космической геодезии, в частности ΓHCC. кинематики данного региона И распределения деформаций посвящены работы Зубовича А.В., Абдурахманова К.Е., Абдуллабекова К.Н., Хамидова Л.Х, Эргешева И.М. и др. [113; с.228-233]. В работе Кафтана В.И., Горшкова В.Л, Малкина З.М., Стеблова Г.М. и Шестакова Н. дан обзор направлений современных геодинамических исследований [114; с.29-43].

Измерения, полученные методами космической геодезии, в сочетании с геологическими, сейсмическими данными в настоящее время используются и для создания тектонических моделей движения плит. В частности, эти данные используется Международной Службой Вращения Земли для создания модели NNR-NUVEL-1A опорной системы координат ITRF (International Terrestrial Reference System). Модель NNR-NUVEL-1A не может служить эталоном, и к тому же она не единственна. Наряду с ней существуют также модели GEODVEL, GSRM, ITRF, полученные по результатам геодезических измерений [115].

Сети наблюдений за деформациями земной поверхности развиваются в рамках национальных проектов в различных странах и республиках, т.к. например, Татарстан [116; с.62-69], Литва [117; с.50-57], Беларусь [118; с.43-47], Новая Зеландия [119; с.40-46], Бенин [120; с.38-42], центральноазиатских республиках Казахстан, Киргизстан, Туркменистан Таджикистан И Узбекистан [121; с.1-14, 122; с.133-135, 123; с.271-272, 124; с.27-30, 125; c.189-193]. Необходимым условием проведения геодинамических исследований проведение исследований в региональном масштабе и создание сети наблюдений, таких как Северо-восточная Евразийская опорная система (North East Eurasia Reference Frame - NEEREF) [62; c.9-21, 126; ctp1-3].

Геодинамических процессы, возникающие как результат вращательного движения таких объектов, как галактики, звездные системы, планеты и их спутники, должны быть изучены на основе кинематических моделей на предмет выявления их скрытых периодичностей [127; с.1-46]. Позиция точки на поверхности твердой Земли может быть выражена как [55; с.99-121]:

$$X(t) = X_0 + v_0(t - t_0) + \sum_i \Delta X_i(t)$$
(1.16)

 ΔX_i -коррекция за счет различных временных изменений,

 X_0 и v_0 позиция и скорость на эпоху t_0 соответственно.

Коррекция должна учитывать приливные и неприливные движения земной коры. Поэтому обеспечение высокой точности, как измерений, так и их обработки занимает особо важное место в построении ГГС.

Временные ряды постоянных пунктов ГНСС включают в себя различные типы сигналов, такие как ошибки, не учтенные при моделировании сигнала, влияние окружающей среды, случайный шум или ошибки программного обеспечения и стохастических моделей. Для анализа и построения кинематической прогнозной модели временных рядов координат станций необходимо провести анализ основных компонентов временных рядов. Существует большое число методов, такие как регрессионный анализ,

сезонной декомпозиции, анализ Фурье, различные методы методы сглаживания, для решения задач анализа временных рядов (отделение сигнала от шума, анализ детерминированной составляющей, фильтрация ряда) [128; с.1-406]. К их общим недостаткам можно отнести необходимость задания явной параметрической модели тренда и требование стационарности остатка. В последние годы для анализа временных рядов используется метод анализа временных «Гусеница», разработанный Санктрядов В Петербургском университете [129; с.1-308]. В Великобритании и США аналогичный метод был разработан под названием SSA (Singular Spectrum Analysis) [130; c.1-305].

Dong D., Fang P., Bock Y., Cheng M. определили структуру ряда и сигнала, деформациями отделение полезного вызванного земной поверхности, сезонными колебаниями [131; с.2075]. По спутниковым измерениям можно решить задачу исследования собственного движения станции и определения короткопериодический вариаций гравитационного потенциала Земли используя статистические методы на коротких промежутках. Последняя версия Международной опорной системы ITRF2014 вычислена на основе моделирования нелинейного движения станций с учетом сезонных (годовые и полугодовые) сигналов и пост-сейсмической деформации (Post-Seismic deformation, PSD) [59; с.6109-6131]. Исследования изменения координат в пунктах международной сети показали, что, помимо векового тектонического движения (порядка 1-3 см в год), наблюдаются также периодические изменения скорости движения станций [60; с.40-48]. Особая роль в анализе этих движений отводится постоянно действующим пунктам геодинамической сети, длительные и непрерывные временные ряды которых позволяют построить более точную и реалистическую модель региональных тектонических подвижек. Анализ движения пунктов и составляющих геодинамических рядов выполнен российскими (Г.М.Стеблов, В.И. Кафтан), американскими (Smith D., Dan R., Hilla S.) учеными [62; с.9-21,

66; c.1-32, 127; c. 1-46]. Модели AR (Autoregressive), ARMA (Autoregressive moving average) использовались J.Li, K. Miyashita, T. Kato, S.Miyazaki для анализа деформаций земной коры в Японии [132; c. 155-162].

Проф. Пулковской обсерватории Малкин З.М. показал, что изменение сезонной компоненты временного ряда влияет на систематические ошибки при построении опорных систем координат [133; с.59-64]. Кроме периода, близкого к годовому, во всех трех компонентах координат станций глобальной сети обнаружены квазипериодические вариации с амплитудами 3-6 мм [60; с.40-48]. А в работах польских ученых Bogusz J., Klos A. [134; с.125-131] и французского Moreaux G. показано, что модель обработки данных также влияет на стабильность опорных пунктов. Анализ станций сети DORIS показал, что сезонный годовой сигнал, связанный с геофизическими процессами для разных станций одного региона, имеет сдвиг по фазе, вероятно, обусловленный улучшением качества наблюдений с запуском спутников JASON-2 в 2008 году и возможность отслеживать сразу до 7 маяков одновременно [135; c.1-21]. Knelifa S. и др. из Центра космических исследований Алжира используют метод Вейвлет преобразования для отделения долгопериодического и сезонного компонентов и метод вариации Алана для описания остаточного шума при анализе 10 пунктов коллокации систем GPS и DORIS для оценки стабильности пунктов. В работе показано наличие нелинейной тенденции, годовых и полугодовых периодов. Амплитуда годового сигнала GPS станций составила 1.5 и 2.9 мм по горизонтальной составляющей координат и 0.8, 1.3, 2.3 мм для полугодовой составляющей вертикальной компоненты. Анализ DORIS рядов показал годовые и полугодовые сигналы с амплитудами около 4-6 мм во всех трех компонентах [136; с.67-76, 137; с. 2572-2588].

Воgusz J., Klos A. из польского технологического университета провели также анализ остаточного компонента (шума) GPS рядов [138; c.478] и оценку годовой периодической компоненты методом наименьших

(LSE) при условии неизменной квадратов амплитуды, фазы И неопределенностей, рассчитанных с использованием цветного шума по модели первого порядка Гаусса Маркова, для польской сети [134; с.125-131]. Анализ шума GPS рядов выявил комбинацию низкого фликкер-шума и преобладание белого шума во всех трех компонентах, тогда как для временных рядов DORIS белый шум во всех трех компонентах превалирует белый шум с уровнем 3 мм и 5 мм [136; с.67-76]. В [137; с.2572-2588] выполнена оценка точности координат различных аналитических центров DORIS, т.к. IGN-JPL (IGN), ИНАСАН, CNES-CLS с точки зрения уровня шума. Выявлено, что наиболее стабильными являются данные центра CNESс ошибками 5.9 мм, 9.3 мм и 6.6 мм для трех компонент временных CLS рядов соответственно. Турецкие ученые рекомендуют использовать анализ временных рядов и оценку составляющих при измерениях в режиме реального времени RTK и показали, что точность определения координат в данном случае достигает 1.5 см [139; с.407-414].

§1.5. О проблеме определения нормальных высот

При построении систем координат с использованием спутниковой технологии имеет место некоторое смещение относительно центра масс Земли из-за ошибок определения координат исходного пункта и каждая спутниковая сеть строится в своей локальной системе, отнесенной к «локальному эллипсоиду» [5; с.147-152]. Для того чтобы локальный эллипсоид наилучшим образом представлял выбранную территорию нужно наилучшим образом ориентировать этот эллипсоид в теле Земли или расположить его относительно исходного пункта на геоиде на некоторой высоте или глубине так, чтобы поверхности геоида и эллипсоида проходили возможно ближе одна от другой на всем их течении [140; с.49-71]. Определение геодезических пункта Китаб исходных лат лля с использованием астрономических широт и долгот было выполнено в кандидатской диссертационной работе автора. Спутниковая станция KIT3 с 54

известными астрономическими координатам (λ₁,φ₁) была выбрана в качестве исходного пункта новой сети и определены исходные геодезические даты. Это позволит в дальнейшем реализовать точную модель локального геоида региона за счет привязки к отвесной линии (ξ₁, η₁) [141; с.1-136]:

$$L_{2,CK-42,Kuma\delta} = \lambda_1 - \eta_1 \sec \varphi_1 = 66^{\circ} 53'8''.8870 - 5''.4774$$
$$B_{2,CK-42,Kuma\delta} = \varphi_1 - \xi_1 = 39^{\circ} 08'1''.7562 - 3''.4989$$

Государственная геодезическая сеть Узбекистана является фрагментом геодезической сети Содружества Независимых Государств и включает около 9400 геодезических точек 1-3 классов. Балтийская нормальная система высоты (нулевая отметка шкалы приливов Кронштадта) была принята в Республике Узбекистан в 1977 году и используется до сих пор. Сегодняшний уровень развития технологий ГНСС в Узбекистане позволяет рассмотреть возможность точного определения нормальных высот методом спутникового GPS нивелирования и с использованием глобальных гравитационных моделей Земли. Систематической базы данных для определения нормальных высот новыми методами на территории Республики пока нет. Полученные горизонтальные координаты проектируемой спутниковой сети Узбекистан будут использоваться непосредственно в инженерных приложениях и приложениях для создания крупномасштабных карт. Ho, при ЭТОМ вертикальная составляющая (эллипсоидальная высота) должна быть преобразована в нормальные (или ортометрические) высоты. Высота геоида должна быть известна с требуемой точностью. Для более точного определения разницы между значениями нормальной и эллипсоидальной высоты должна быть создана модель поверхности геоида для территории республики.

В настоящее время одно из направлений космической геодезии связано с созданием планетарных моделей гравитационного поля Земли, обеспечивающих вычисление высот квазигеоида в любой точке земного шара [142; с.56-61, 143, 144, 145; с.1-20]. Новые миссии гравитационных спутников обеспечивают глобальные решения, позволяющие моделировать длинные и средние длины волны гравитационного поля Земли. Среди наиболее удачных и точных моделей геопотенциала Земли на сегодня отмечают две: модель EGM2008 (Earth Gravitational Model) и комбинированная модель с учетом данных спутникового проекта GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) EIGEN-6C4. Гравитационное поле Земли в данном случае представляется в виде ряда сферических функций, а высота квазигеоида определяется как [146; с.5-9]:

$$\zeta(B,L,H) = \frac{fM}{\gamma(B,L,h)r} \sum_{n=2}^{N} \left(\frac{a}{r}\right)^{n} \sum_{m=0}^{n} \overline{P}_{nm}(\sin\varphi)(\overline{C}_{nm}\cos\lambda + \overline{S}_{nm}\sin\lambda) \quad (1.17)$$

здесь *B,L,H* – геодезические координаты определяемой точки в системе WGS-84, *h*- нормальная высота определяемой точки, *fM* – произведение гравитационной постоянной на массу Земли, *a*- большая полуось эллипсоида WGS-84, γ - нормальное ускорение силы тяжести, φ , λ , *r*- сферические геоцентрические координаты определяемой точки (широта, долгота, радиусвектор), $\overline{P}_{nm}(\sin \varphi)$ - $\overline{P}_{nm}(\sin \varphi)$ полностью нормированные присоединенные функции Лежандра, \overline{C}_{nm} , \overline{S}_{nm} - нормированные гармонические коэффициенты аномального геопотенциала, N- предел суммирования сферических гармоник (п,m –соответственно степень и порядок гармоник).

Некоторые характеристики глобальных гравитационных моделей приведены в табл.1.6.

Таблица 1.6

Модель	Год	Степень	Разрешени	Описание исходных данных*
		гармоник	e	
EIGEN-6C4	2014	2190	2'x 2'	C(GOCE, GRACE, LAGEOS), Γ, Α
EGM2008	2008	2190	1'x 1'	C(GRACE), Γ, Α

Модели геопотенциала Земли [147; с.907-1205]

*Описание исходных данных: С: спутниковые данные, Г- гравиметрические данные, А – альтиметрические данные.

Точность определения аномалий высот геоида для модели EGM2008 (Earth Gravitational Model, 2008 год) равна 15 см [148; с. 1-117].

Общей проблемой, с которой сталкиваются большинство стран, является определение локального геоида с использованием глобальной гравитационной модели при первом подходе и замена классического нивелирования для определения нормальных высот методом спутникового нивелирования с помощью GPS. До настоящего времени практически не изучены возможности применения глобальных моделей гравитационного поля Земли, таких как EGM2008, EIGEN-6C4 и спутникового GNSS нивелирования для построения локальной цифровой модели высот. В монографии Дмитренко А.П. выполнен детальный анализ математических моделей расчета геоида. Как отмечено в данной работе высоты геоида зависят от ортометрической высоты точки на поверхности Земли и экстремальное отличие между геоидом и соответствующей уровенной поверхностью имеют большие различия в высокогорных районах для различных версий глобальных моделей. Например, для Гималайских гор, для модели EGM96 составляет 3,6 м, для модели EGM2008 – 4,7 м [145; с.65-68].

Проводимые в настоящее время исследования направлены на оценку точности глобальных моделей с использованием спутниковых координатных определений, геометрического нивелирования и астрономических данных, на разработку методов комбинирования различных данных для улучшения точности глобальных моделей и применения их в локальной области, создание локальных цифровых моделей геоида с регулярной сеткой по широте и долготе в системе координат WGS-84. Специалистами компании «Кредо-Диалог» проведено сравнение высот квазигеоида, вычисленных по модели EGM2008 и полученных геометрическим методом для 196 пунктов на территории Беларуси. Точность тестируемой модели на уровне СКП (случайной составляющей расхождений) около 5 см [149; с.63-66]. Для территории европейской части России Непоклоновым В.Б. показано расхождение модельных высот геоида и высот, полученных геометрическим

методом со СКП 19 см и для уклонений отвесной линии от 0.65" до 0.99" [144]. Специалисты Сибирского государственного университета геосистем и технологий Гиенко Е.Г., Решетов А.П., Струков А.А. получили расхождения на уровне 10 см и соответствие геометрическому нивелированию IV класса для аномалий высот как для локальной модели, так и для глобальной модели EGM2008 для территории Новосибирской области [150; с.186-191]. В работах турецких ученых Soycan М. предлагаются методы минимизации разности между высотами геоида по модели EGM2008 и GPS высотами за счет введение корректирующей поверхности [151; с.11-17].

Для установления системы высот и построения локальных геоидов в ряде стран, таких как, национальный геоид Алжира [152; с.18-26], Хорватии HRG2000 [153; с.82-91], два геоида Словакии GMSQ03B и GMSQ03C [154; с. 243-249] использована предыдущая версия модели EGM96. Исследования точности и близости реального геоида к модели EGM2008 для различных территорий по всему миру выполнили ученые Т. Gruber [155; с. 3-17], С. Jekeli, H.J. Yang, J.H. Kwon [156; с.38-49], J. Huang, M. Veronneau [157; с.66-72], D.R. Roman, J. Saleh, Y.M. Wang, V.A. Childers, X. Li, D.A. Smith [158; с.73-78], P.J. Morgan, W.E. Featherstone [159; с.317-331] и др.

В настоящее время различные интерполяционные методы используются ДЛЯ определения различных геодезических величин. Инструменты программы ArcGIS 9 Spatial Analyst предлагают различные методы для создания требуемой модели поверхности: детерминистические и геостатистические. Методы детерминистической интерполяции создают поверхности, основанные на измеренных точках или математических формулах. Методы, такие как обратное взвешивание расстояний (IDW), на степени сходства ячеек. Методы геостатистической основаны интерполяции, такие как Кригинг основаны на статистике и используются для более расширенного прогнозирования поверхности модели, что также включает определенную степень достоверности или точности предсказаний [160]. Методы интерполяции полиномами, триангуляция Делоне, метод 58

ближайшего соседа, метод обратно взвешенных расстояний, кригинг и функция радиального базиса выбраны наиболее предпочтительными для построения поверхностей т.к. цифровая модель рельефа, геоид в [161; с.32-Например, в [162; с.14-18] Erol B. и другие ученые из Турции для 37]. GPS построения локального геоида с использованием данных получили, ЧТО метод Кригинг нивелированием дает более лучшую статистику, чем результаты интерполяции методом обратного взвешивания расстояний (IDW). Для разделения геоида и квазигеоида в Иране применена «триангуляция с линейной интерполяцией», «ближайшего соседа» и «радиальной базисной функции» в зависимости от рельефа местности [163; c.8292-8299].

§1.6. Выводы

В данной главе диссертации проанализированы литературные данные экспериментальных и теоретических исследований, касающихся создания локальных опорных координатных систем. Вопросы перехода и выбора новой геоцентрической системы координат для территории республики, направление исследований и основные факторы, влияющие на реализацию опорной системы, были опубликованы в работах [3A, 4A, 13A, 18A, 19A, 20A, 24A, 25A, 27A, 29A].

1. Действующая СК-42, координатная опорная система базированная Красовского, на эллипсоиде являясь статической И подверженной значительным деформациям на границах блоков не удовлетворяет современным уровням точности. Однако, несмотря на это, в работе обоснована необходимость комбинирования классических астрономогеодезических работ в Центрально-азиатском регионе, основой которых стали работы в рамках Международной службы широты в Китабе, с спутниковыми измерениями высокоточными для исследований закономерностей изменения уклонения отвеса ОТ нормали,

долгопериодических членов разложения геопотенциала Земли и построения моделей квазигеоида для территорий с горным рельефом.

2. Для построения современной Национальной географической информационной системы (НГИС) республики ITRS (International Terrestrial Reference System) с референц-эллипсоидом WGS-84 с большой полуосью равной 6378137 м и знаменателем сжатия 298.257 должна быть принята в качестве исходной опорной системы координат. Национальная референцияя система координат, базированная на современной сети GNSS станций республики, вычисленная как ее реализация на определенную эпоху с использованием оптимального комбинирования данных при выполнении условий согласования на уровне точности определения координат спутниковыми методами различных систем для построения обоснованной математической модели перехода, соблюдения условия «фиксированных» тектонических плит региона для определения динамической системы, включающей информацию о квазигеоиде республики.

3. Для модернизации системы государственного геодезического обеспечения Республики Узбекистан, в качестве единой пространственной координатной системы отсчета предложена структурная схема развития Пространственной земной опорной системы координат Узбекистана UzPOS (Uzbekistan Positioning), включающая два независимых компонента: Геодезическую референцную систему UzGRS (Uzbekistan Geodetic Reference System) и Высотную референцную систему UzVRS (Uzbekistan Vertical Reference System) Узбекистана.

4. Предварительная оценка разности координат в двух системах с использованием высокоточных измерений международной сети CATS (Central Asia Tectonics Sciences) показала расхождение получаемых результатов до 130 м и необходимость исследования вопросов обработки измерений GNSS станций, оценки точности используемых моделей и ключей перехода между СК-42 и WGS-84.

5. Учитывая, данный ЧТО на момент реализованы только классические методы пересчета координат между локальной СК-42 и геоцентрической WGS-84 системами координат И нет комплексной программы для обеспечения практических нужд пользователя необходимо рассмотреть вопросы разработки методики перевода в различные системы пользователя (эллипсоидальные, плоские) координат исходных данных, определения параметров трансформации между референцными системами и программной реализации.

6. Исследование геодинамических процессов, возникающих как результат вращательного движения таких объектов, как галактики, звездные системы, планеты и их спутники, требуют получения информации об изменениях координат во времени, связанных с влиянием нагрузочных эффектов (атмосфера, гидрологическая нагрузка, тектонические сдвиги и др.) в режиме реального времени на основе прогнозной модели временных рядов.

7. Учитывая, что большинство пунктов государственной сети в СК-42 утрачены, для выполнения центрирования пунктов новой сети и оптимального ориентирования осей необходимо провести исследование методов локальной привязки к астрономическим определениям уклонения отвеса.

8. Для согласования различных физических реализаций систем координат требуется знание квазигеоида региона. Учитывая, что точность высотной основы пока на порядок ниже плановых координат необходимо провести исследование методов формирования локальной цифровой модели с использованием глобальных гравитационных моделей Земли и GNSS измерений.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ WGS-84 И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ СК42 ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ

§ 2.1. Исследование метода получения высокоточных координат

(Precise Point Positioning)

Для сохранения геодезического и картографического потенциала, уже созданного к этому времени и корректного уравнивания спутниковых и традиционных измерений при реализации новой Национальной референцной системы координат основным фактором, влияющим на переход между опорными системами, является высокоточное определение координат пунктов сети [88; с.1-193]. Поэтому в данной части работы было проведено исследование как точности обработки измерений с новых постоянных станций, так и оценке параметров трансформирования, и выбору модели перехода между опорными системами. При построении национальной геодезической сети Узбекистана точные координаты новых вводимых пунктов сети должны быть определены относительно мировой геодезической системы (WGS-84) или же относительно международной земной опорной системы (ITRF). Выбор метода измерений, если он не оговорен в соответствующем нормативном документе, зависит от многих факторов, таких как, требования к оперативности данных, степень удаленности от опорных пунктов, характер динамики работ, наличие соответствующей инфраструктуры и т.п. Однако главным фактором, безусловно, является потенциальная точность метода [28; с.7-20]. Дифференциальный метод спутникового позиционирования позволяет получать координаты на уровне миллиметра. Измерения в данном случае проводятся с помощью как минимум двух двухчастотных приемников, причем один из них должен быть установлен на базовой станции с известными координатами. Необходимым

подобных измерений условием проведения является развитая инфраструктура сети опорных станций для данной территории, наличие дорогостоящего оборудования и выполнения «длительной привязки» на базовой станции, проведения квазисинхронных наблюдений на пункте с новой станции. Разрешение известными координатами И фазовых неоднозначностей проводится за счет применения одинарных и двойных разностей [33; с.117-120]. Построение геодезических сетей в настоящее время также является дорогостоящим процессом и требует для непрерывной обработки наличия также специального программного обеспечения (BERNESE, EUPOS, GIPSY и др.). В настоящее время на территории республики действующая сеть не соответствует данным требованиям (пока ограниченное количество действующих опорных пунктов, структура сети находится на стадии развертывания, нет полной автоматизации обработки данных и др.). Поэтому предложена альтернативная методика, недавно вошедшая В практику под названием метода высокоточного позиционирования PPP (Precise Point Positioning). Концепция данного метода предложена впервые в 70-е годы и теоретические принципы изложены в работе Zumberge и др. [164; с. 5005-5017]. В работах [165; с.43-50, 166; с.96-105] метод РРР рассматривается как альтернатива в ближайшем будущем не только при постобработке данных сети, но и методам измерений, т.к. кинематических и дифференциальных GPS измерений в режиме реального времени (RTK). Наблюдения псевдодальностей и фаз несущей GPS моделируются с использованием уравнений [1; с.236-269]:

$$P_{i} = \rho + c(dt^{r} - dt^{s}) + T + \frac{f_{1}^{2}}{f_{i}^{2}}I_{1} + b_{P_{i}}^{r} - b_{P_{i}}^{s} + \varepsilon_{P_{i}}$$
(2.1)

$$L_{i} = \rho + c(dt^{r} - dt^{s}) + T + \frac{f_{1}^{2}}{f_{i}^{2}}I_{1} + b_{L_{i}}^{r} - b_{L_{i}}^{s} - \lambda_{i}N_{i} + \varepsilon_{L_{i}}$$
(2.2)

Здесь і - индекс частоты

*P*_i – кодовые измерения

 ρ - геометрическое расстояние

с – скорость света в вакууме

dt^{*r*} – поправка часов приемника

dt^s – поправка часов спутника

T, *f*_i – тропосферная задержка, частота

 I_1 – ионосферная составляющая первого порядка на частоте L_1 $\mathcal{E}_{\text{Pi}}, \mathcal{E}_{\text{Li}}$ – ошибка (шум) и не моделируемые эффекты кода и фазы

*L*_i – фазовые измерения

 λ_i – длина волны на *i*-ой частоте

 $b_{P_i}^r, b_{L_i}^r$ – смещения кода и фазы оборудования приемника

 $b_{P_i}^s, b_{L_i}^s$ – смещения кода и фазы оборудования спутника

Для компенсации основных погрешностей при абсолютных фазовых GPS-измерениях, в данном методе используется ионосферно-свободная линейная комбинация (IF) и внешняя информация в виде точных значений эфемерид (x^s , y^s , z^s) и поправок часов спутников $cdt^s_{IF} = cdt^s + b^s_{P_{IF}}$. Такую информацию в виде отдельных файлов формируют в международных сервисных центрах обработки данных ГНСС-наблюдений (GPS и ГЛОНАСС) И предоставляют пользователям ИЗ различных стран через специализированные интернет-ресурсы (т.к. International GNSS Service — IGS). Координаты спутника И поправки часов оцениваются С использованием ионосферно-свободной комбинации кода и фазы:

$$P_{IF} = \rho + cdt_{P_{IF}}^{r} - cdt_{P_{IF}}^{s} + T + \varepsilon_{P_{IF}}$$
(2.3)

$$L_{IF} = \rho + cdt_{P_{IF}}^{r} - cdt_{P_{IF}}^{s} + T - \lambda_{IF}N_{IF} + (b_{L_{IF}}^{r} - b_{P_{IF}}^{r}) - (b_{L_{IF}}^{s} - b_{P_{IF}}^{s}) + \varepsilon_{L_{IF}}$$
(2.4)

Параметр «неопределенности» фазы: $-\lambda_{IF}N_{IF} + (b_{L_{IF}}^r - b_{P_{IF}}^r) - (b_{L_{IF}}^s - b_{P_{IF}}^s)$.

За последние годы ряд аналитических центров разработали бесплатные онлайн сервисы для расчета координат для новых задаваемых пунктов методом высокоточного определения координат. В диссертационной работе были проанализированы были выбраны две их них: Automatic Precise Positioning Service (APPS), разработанная Jet Propulsion Laboratory (JPL) (http://apps.gdgps.net/), и программа, предлагаемая *Canadian Spatial Reference System* (CSRS) (http://www.geod.nrcan.gc.ca/). Дадим их краткие характеристики.

Сервис JPL лаборатории Automatic Precise Positioning Service (APPS) для обработки фаз и кодов GPS измерений, представленных в формате RINEX, использует программу данной лаборатории GIPSY-OASIS, версии 5. Методом высокоточного позиционирования, описанным в Zumberge [164; с. 5005-5017], с использованием значений JPL орбит и поправок к часам определяются координаты станции (статический режим) или временные ряды станции (в кинематическом режиме), неопределенности фазы, гидростатическая и влажная зенитная задержка с вариациями 0.3 мм на каждые 2 часа.

Ионосферно-свободная комбинация моделируется программой Canadian Spatial Reference System (CSRS) с использованием высокоточных орбит IGS. В режиме статик и кинематики, комбинируя несущую фазу можно определить позицию станции, неопределенность несущей фазы, моделируя смещения антенны, приливные и океанические нагрузки, параметры вращения Земли. Точность получаемых координат двухчастотных измерений в статическом режиме достигает 1-2 см [167; с.17-28, 168; с.1-18]. В табл.2.1 представлена информация о точности оценок орбит, часов спутников, официальном сайте службы IGS доступные на (http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods).

В работе было выполнено сравнение результатов вышеуказанных служб с «эталонными» решениями, полученными с помощью коммерческого программного обеспечения Bernese версии 5.0 автором во время стажировки В Центре исследования Земли Потсдама GFZ. Разработанное астрономическим Берна (AIUB) университетом ланный комплекс предназначен для обработки одно- и двухчастотных измерений, разрешения неоднозначности на длинных базовых линиях, моделирования ионосферы и 65

тропосферы и др. в основном с использованием дифференциального метода обработки данных GPS. PPP опция программного комплекса Бернес включает: подготовку исходной информации, предварительную обработку наблюдений, вычисление PPP координат для каждого пункта и конечную трансформацию в выбранную опорную систему. Но, пока Астрономическим институтом Берна реализованы только 3 первых этапа данной процедуры [169; с.429-436]. Для исследования влияния точности комбинированного решения орбит в Bernese – решении были использованы орбиты и поправки часов спутников, получаемые Центром определения орбит (CODE). Угол горизонта задавался при обработке и составлял 10°, геофизические модели выбирались в соответствии стандартами IGS и IERS [55; с.1-179].

Таблица 2.1

Тип информа	ации	Точность	Время подготовки
Бортовые эфемериды	орбиты	~100 см	Реальное время
	Часы спутника	~5 нс (RMS)	-
Сверхбыстрые	Орбиты	~5 см	Реальное время
предсказанные	Часы спутника	~3 нс (RMS)	
Сверхбыстрые	Орбиты	~3 см	3-9 часов
	Часы спутника	~150 пс (RMS)	-
Быстрые	Орбиты	~2.5 см	17-41 часов
	Часы спутника	~75 пс (RMS)	
Финальные	Финальные Орбиты		12-18 дней
	Часы спутника	~75пс (RMS)	

Точность эфемероидно-временной информации.

Для исследования поставленной задачи были использованы данные двух постояннодействующих станций: Китаб (КІТЗ) и нового пункта Фергана (FERG, Госкомзегеодезкадастра). Данные пункта КІТЗ представляют собой серию двухчастотных 10 секундных измерений, объединяемых в суточные 24-часовые файлы и представлены в формате RINEX. Данные станции FERG измерялись на 30 сек. интервале. Период обработки с апреля по июль 2011 года.

Исследование проводилось в 2 этапа:

1) режим обработки данных двухчастотных спутниковых наблюдений в режиме PPP не требует установки и использования базовых станций, позволяет получить сантиметровый уровень точности для статических наблюдений в кадастровых, топографо-геодезических работах и инженерных изысканиях. Для выработки стратегии обработки данных новых станций (напр., Фергана) сети республики необходимо оценить возможности онлайн сервисов;

2) Оценка координат станции Фергана в кинематическом режиме PPP за сутки в момент землетрясения (20.07.2011, 19:35 UT, M=6.1)

В таблицах 2.2 -2.3 представлены разности вычисленных прямоугольных координат (X, Y, Z) рассматриваемых станций между PPP-решением онлайн сервисов и Bernese (BSW) решением. В среднем, значения как горизонтальных, так и вертикальных компонент, вычисляемые обеими службами хорошо согласуются с данными полученными с помощью ПО Bernese. Но, преимущество программы лаборатории JPL в данном случае, эффективность и быстрая скорость обработки данных.

Таблица 2.2

Разница значений прямоугольных координат между PPP-решением онлайн сервисов и Bernese (BSW) решением для станции KIT3

]	BSW-CSF	RS	BSW-APPS			
день в году	dХ, мм	dY, мм	dZ, мм	dХ, мм	dY, мм	dZ, мм	
196	-37.2	-12.0	-32.9	-21.0	9.8	-6.4	
197	-39.7	-54.3	-66.4	-22.1	-24.8	-42.9	
198	-30.5	-32.7	-41.8	-13.7	-10.4	-17.4	
199	-35.9	-46.6	-58.5	-16.5	-23.7	-37.1	
200	-29.4	-39.2	-53.2	-10.0	-16.6	-33.4	
201	-11.6	-28.8	-43.7	1.2	-9.6	-25.3	
202	-10.0	-23.9	-44.6	13.7	2.0	-18.6	
203	-9.8	-16.7	-44.0	8.3	5.1	-23.9	
204	-9.2	-7.7	-34.7	7.0	10.9	-16.6	
СКО. мм	12	12.5	8.5	12	11.8	8.9	

Среднеквадратическое отклонение (СКО) для горизонтальных (Х,Ү) и вертикальной (Z) компонент составило соответственно 12 мм, 12.5 мм, 8.5 мм для KIT3 APPS решения и 12 мм, 11.8 мм и 8.9 мм для CSRS решения для станции KIT3; 9.7 мм, 8.5 мм, 4.7 мм для FERG APPS решения и 11.3 мм, 8.2 мм и 4.1 мм для CSRS решения для станции FERG.

Таблица 2.3

Разница значений прямоугольных координат между PPP-решением онлайн сервисов и Bernese (BSW) решением для станции FERG

	В	SW-CSRS		BSW-APPS		
день в году	dX, мм	dY, мм	dZ, мм	dX, мм	dY, мм	dZ, мм
196	-30.8	-24.4	12.0	-15.7	16.1	-20.4
197	-30.9	-22.7	14.1	-10.5	14.0	-22.7
198	-22.0	-12.8	19.1	-9.5	16.0	-17.1
199	-18.6	-7.8	-7.0	-22.9	-4.0	-31.4
200	-15.8	-5.6	-11.7	-29.4	-11.8	-33.0
201	-6.5	-2.0	-10.2	-19.1	-6.0	-28.3
202	1.2	9.4	-1.1	-12.3	-1.7	-26.0
203	5.1	13.3	0.2	-16.8	0.0	-23.7
204	0.3	10.0	-5.5	-17.5	-7.6	-27.9
205	-1.1	0.2	-6.7	-23.6	-1.8	-24.1
206	-4.2	-0.9	4.6	-13.8	5.9	-18.8
СКО, мм	9.7	8.5	4.7	11.3	8.2	4.1

Сравнение эллипсоидальных координат (N, E, U), вычисленных в программе

Bernese с данными рассматриваемых сервисов представлено в табл.2.4-2.5.

Таблица 2.4

Разница значений эллипсоидальных координат (dN,dE,dU) между PPP-

решением онлайн сервисов и Bernese (BSW) решением для станции KIT3

BSW-APPS		
,мм		
0.0		
8.0		
0.0		
2.0		
4.0		
5.0		
3.2		

В целом, СКО разностей составило в среднем 2 мм по плану и 6 мм по высоте, обеспечивая заявленную данными службами точность уровня сантиметра (рис.2.1).

Таблица 2.5

pemennem onnann ceptheots a bernese (bs w) pemennem din crantina i Eko							
	BSW-CSRS			BSW-APPS			
день в году	dN, мм	dE, мм	dH, мм	dN, мм	dE, мм	dН,мм	
199	-1,5	-3,1	-6,2	3,4	-14,9	0,0	
200	1,5	0,2	-3,4	1,2	-11,0	1,0	
201	-3,7	-1,2	-3,7	1,8	-7,0	0,0	
202	-3,7	-1,9	0,2	4,6	-11,3	11,0	
203	-0,3	2,9	-9,1	1,5	-5,0	-3,0	
204	-3,1	-0,5	-18,0	1,5	-9,3	-7,0	
СКО, мм	1,7	1,5	4,6	1,1	2,6	3,8	





Рис.2.1. Разница значений эллипсоидальных координат (*dN,dE,dU*) между PPP-решением онлайн сервисов и Bernese (BSW) решением для станций KIT3 и FERG

Однако, как видно из рис. 2.1, расхождения между различными решениями проявляется хорошо в высотном компоненте координат обеих станций (рис.2.2).



Рис.2.2. Разница значений высотного компонента (dU) между PPPрешением онлайн сервисов APPS и CSRS для станций KIT3 и FERG

Очевидно, что ЭТО связано С недостаточной изученностью (отсутствием) геоида в данном регионе и использованием глобальной модели EGM2008 для службы APPS и использованием модели геоида NAD83 для канадского сервиса. Обработка данных различных онлайн служб, как и центров анализа данных международной службы IGS в настоящее время базирована на использовании различных программных комплексов, использующих наравне со стандартами IERS 2010 различные стратегии анализа данных (модели ионосферы, орбиты и поправки часов и др.). Различные решения согласуются на уровне 1-3 мм в горизонтальных компонентах и 2-6 мм по вертикали [170; с.69-74]. Но, использование разных данных орбит и поправок часов приводит к смещению геоцентра и, следовательно, влияет на точность определения координат ПУНКТОВ. Результаты данного исследования показали возможность использования метода высокоточного позиционирования для абсолютного определения формирования новой координат на этапе системы координат И предварительного определения координат новых станций. Заявленная 70

данными сервисами сантиметровая точность может быть реализована при использовании точных эфемерид и поправок часов как различных аналитических центров, так и комбинированного решения IGS при обеспечении необходимого времени конвергенции. Рекомендуется использовать 30 секундные измерений с 24-часовой сессией в комбинации с финальными решениями орбит и поправок часов на 5 минутном интервале [171; c.336-337. 172; c.184-186].

Режим кинематики был рассмотрен на примере станции Фергана (рис.2.3). 20.07.2011, 19:35 UT, M=6.3 (день года 200) на приведенном графике соответствует моменту Канского Баткенской области (Киргызстан) землетрясения, произошедшего на территории Западного Тянь-Шаня. GNSS Обработка измерений в момент землетрясения подтвердило эффективность использования метода РРР для исследования роли приливных факторов В процессе подготовки землетрясений, обусловленных гравитационным воздействием Луны и Солнца, предлагаемой в современных работах исследованиям источников и механизмов сейсмогенных ПО процессов. Периодическое знакопеременное воздействие гравитационных волн способны вызывать соответствующие деформации горных массивов, которые могут проявиться и в вариациях параметров подземных вод. Результаты изменения координат по долготе и высоте станции до 25 см флюидная земной коры показывают, ЧТО среда является наиболее динамичной и может служить информативным индикатором напряженнодеформированного состояния слоев земной коры [50; с.334-338].

Оценивая работоспособность метода PPP, можно сделать вывод, что его рекомендуется использовать только для предварительной оценки значений позиций новых пунктов. а также в местах с ограниченным доступом к коммуникации и удаленных регионах.

Метод вычисления координат новых станций государственной сети на основе применения высокоточных орбит и поправок часов спутников GNSS

системы был использован при определении координат новых пунктов геодезической сети республики.



Рис.2.3. Временной ряд для широты станции Фергана за период апрель-июль 2011 (GPS день 200 соответствует моменту землетрясения).
Сравнительный анализ полученных результатов 2 онлайн PPP сервисов с результатами программного комплекса Бернес позволил сделать следующие выводы:

- режим обработки данных абсолютных двухчастотных спутниковых наблюдений, реализованный в онлайн службе JPL, имеет перспективы
- широкого практического применения на территории Узбекистана и является в ряде практических случаях альтернативой и дополнением к дифференциальному и относительному методам точного позиционирования. Он не требует установки и использования базовых станций, позволяет получить сантиметровый уровень точности для статических наблюдений.
- недостатком метода РРР является зависимость от точности и доступности продуктов научной деятельности международных центров обработки GNSS наблюдений.

- сантиметровая точность определения координат может быть реализована в системе ITRF с использованием точных орбит и поправок часов как различных аналитических центров IGS (AC) так и комбинированного решения IGS.

- такой же подход можно применить и в режиме кинематики

§ 2.2 Выполнение локальной привязки опорного пункта Китаб

Учитывая, что большинство пунктов государственной сети в СК-42 утрачены, для выполнения центрирования пунктов новой сети и оптимального ориентирования осей разработан алгоритм локальной привязки к астрономическим определениям уклонения отвеса. Реализация методики рассмотрена на примере измерений сети CATS (табл.1.5). Горизонтальные (B, L) координаты в системе СК-42 определялись на основе классических дифференциальных формул II рода при условии, что координаты в СК-42 начального пункта вычислены на основе составляющих уклонения отвесной линии. Для точки $B_{1,WGS-84}$, $L_{1,WGS-84}$ и некоторой точки триангуляции $B_{2,WGS-84}$, $L_{2,WGS-84}$ на эллипсоиде WGS-84 с большой полуосью a_{WGS-84} и сжатием α_{WGS-84} новые координаты $B_{2,CK-42}$, $L_{2,CK-42}$ на другом эллипсоиде с большой полуосью a_{CK-42} и сжатием α_{CK-42} можно определить через поправки к широте и долготе:

$$db'' = -b\left[\frac{da}{a} - (2 - 3\sin^2 B_m)d\alpha\right]$$
(2.5)

$$dl'' = -l \left[\frac{da}{a} + \sin^2 B_m d\alpha \right]$$
(2.6)

здесь *m* - средние значения величин между точками 1 и 2. Станция Китаб с астрономическими координатам (λ_1, φ_1) выбрана в качестве исходного пункта сети (на основе результатов кандидатской работы автора). В дальнейшем это позволит построить локальный геоид региона за счет привязки к отвесной линии (ξ_1, η_1):

$$L_{2,CK-42,Kuma\delta} = \lambda_1 - \eta_1 \sec \varphi_1 = 66^{\circ} 53'8''.8870 - 5''.4774$$
$$B_{2,CK-42,Kuma\delta} = \varphi_1 - \xi_1 = 39^{\circ} 08'1''.7562 - 3''.4989$$

Разность плановых координат в двух системах CK-42 и WGS-84 определяемая по параметрам ГОСТ (табл.1.4) составляет 30 м для широты и 80 м для долготы. Для предложенного алгоритма, вычисленные поправки для пунктов сети CATS составили от 0 до 4 м по широте и от 0 до 6 м по долготе (рис.2.4).



Рис.2.4 Разница модельных значений в СК-42 широт и долгот пунктов

сети CATS с реальными данными в системе WGS-84

Алгоритм также использован при построении цифровой высотной модели новой системы координат в четвертой главе диссертации.

§2.3 Анализ существующих параметров перехода. Разработка методики определения параметров перехода между опорными системами координат

В каждой системе положение точки может быть представлено в форме *прямоугольных* (*декартовых*) или *сферических* координат, а для систем, связанных с эллипсоидами – также в форме *геодезических* (сфероидических. или эллипсоидальных, или криволинейных) координат. При проведении топографо-геодезических работ и навигации часто используются также плоские координаты в различных картографических проекциях. Для стран СНГ (включая Узбекистан) используется конформная проекция Гаусса – Крюгера [1; с.61]. Поэтому далее рассмотрим каждую из этих форм представления координат на примере соответствующих им моделей преобразования между опорными системами.

Проведем исследование на предмет, какой из уже имеющихся наборов параметров перехода (табл.1.4) применим для практических целей на данной территории. Для наиболее точного решения данной задачи для исследуемой сети должны быть заданы координаты точек в обеих системах координат. Такие точки называются «общими». Данные точек в локальной системе СК-42 не доступны для общего пользования. С другой стороны, большинство измерений были потеряны. Альтернативная стратегия состояла бы в том, чтобы получить значения в СК-42 «общих» точек с существующих топографических карт. В работе использованы топографические карты масштаба М=100 000 с сайта [173]. Алгоритм получения и преобразования координат представлен на рис. 2.5. Точность определения плановых координат (х.у) проекции Гауса-Крюгера определяется масштабом карт и

может быть вычислена по формуле t=0.1*М, мм. В нашем случае точность получения координат будет 10 000 мм или 10 м.

Этапы вычислений	Примечание		
(Х,У)СК-42реальные	Значения координат в		
	проекции Гаусса-Крюгера с		
	топокарт		
(X,Y,Z) WGS-84 (X, Y, Z) CK-42 оцениваемое	7-параметрическая модель		
\downarrow	Гельмерта (см.1.9, табл.1.4)		
(X, Y, Z) CK-420UeHUBaeMoe (B,L,H) CK-420UeHUBaeMoe	Перевод прямоугольных		
	координат в эллипсоидальные		
	[1; c.34]		
(B,L,H) _{СК-420цениваемое} (x,y) _{СК-420цениваемое}	Определение координат в		
	проекции Гаусса-Крюгера (см.		
	1.10)		
(х,у) _{СК42 реальные} (=?)(х, у) _{СК-42 оцениваемые}	Вычисление разницы		
	реальных и преобразованных		
	(оцениваемых) координат		

Рис. 2.5. Алгоритм определения координат «общих» точек в СК-42 и

оценки точности параметров преобразования из WGS-84 в СК-42

Для получения плановых координат проекции Гаусса-Крюгера был разработаны алгоритмы с улучшенной сходимостью, где в отличие от опубликованных в ГОСТ формул задаются параметры любого эллипсоида.

В рамках прикладного проекта Астрономического института ФА-А5-Ф014 «Создание геодезической основы для современной ГНСС сети с учетом геодинамических особенностей территории Республики Узбекистан (2015-2017), по предложенному на рис.2.5 алгоритму, было разработано программное обеспечение в среде Delphi 9.0. Для практических целей данная программа выполняет также преобразование геоцентрических прямоугольных координат из WGS-84 в СК-42 с использованием 7параметрической модели Гельмерта, переход к эллипсоидальным координатам (N,E,U), вычисление дифференциальных поправок для новых пунктов сети относительно выбранных опорных пунктов, реализована возможность задания своих ключей перехода между системами координат. Отличие от уже существующих программ, доступных пользователю, в возможности обрабатывать большое количество станций (более 250), задавать свои параметры эллипсоида [174,175]. Проведем исследование влияния рельефа территории на точность преобразования с использованием данных международных станций КІТЗ, ТАЅН, МАDK, МТАL (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Станция	Сокр.назв.	Широта. В	Долгота. L	Высота. Н (м)
Китаб	KIT3	39° 08′ 05″.16	66° 53′ 07″.61	622.49
Майданак	MADK	38 °40′ 25″.57	66° 53 '48″.71	2551.33
Ташкент	TASH	41° 19 ′40″.98	69 °17′ 44″.05	439.70
Майдантал	MTAL	41° 59′ 47″.65	70 °38′ 18″.03	1445.68

Координаты опорных пунктов в системе WGS-84

Учитывая расположение, разделим станции на 2 группы: «горные» станции (MTAL, MADK) и «равнинные» (KIT3, TASH). Результаты преобразований с различными наборами параметров трансформации приводятся в табл. 2.7 и 2.8.

Таблица 2.7

	ГОСТ	ERDAS IMAGINE	ERDAS	EPSG	Mapinfo
	51794-2008	Пулково 1942	IMAGINESystem		
			42/83 (Пулково)		
MTAL	-63,92	-52,46	-45,38	-42,52	-43,72
MADK	-89,21	-76,20	-69,05	-65,01	-67,84
KIT3	-87,01	-74,20	-67,05	-63,19	-65,78
TASH	-76,10	-64,31	-57,21	-54,11	-55,64

Разность значений СК42 (вычисл.-действ.) для плановых координат x (м)

Таблица 2.8

	ГОСТ51794-	ERDAS	ERDAS	EPSG	Mapinfo
	2008	IMAGINE	IMAGINESystem		
		Пулково 1942	42/83 (Пулково)		
MTAL	95,73	85,04	71,19	90,35	74,36
MADK	17,47	5,75	-8,01	9,88	-4,44
KIT3	29,10	17,35	3,56	21,49	7,14
TASH	33,26	22,18	8,34	27,08	11,65

Разность значений СК42 (вычисл. - действ.) для плановых координат у (м)

Как видно по данным таблиц и рис. 2.6 для координаты х результаты колеблются в диапазоне от 42 до 90 метров разницы независимо от местоположения станций. Для долготного компонента координат *у* разность между системами СК-42 и WGS-84 для станции MTAL значительно превышают данные остальных пунктов. Колебания смещения от 70 до 100 м, по-видимому, вызваны большим гидрологическим сигналом в данном регионе [176; с.207-214].



Рис. 2.6. Разница между вычисленными и полученными с топокарт («действительные») значениями координат в СК-42

Для исследования точности преобразования с эллипсоидальными координатами была использовано 7-параметрическое преобразование по Молоденскому [1; с.65-68]:

$$\Delta B = \frac{\rho''}{M+H} \left[-T_X \sin B \cos L - T_Y \sin B \sin L + T_Z \cos B + \frac{\Delta a_E (Ne^2 \sin B \cos B)}{a} + \frac{N \Delta e_E^2}{2} \left(\frac{N^2}{a^2} + 1 \right) \sin B \cos B \right] + (2.7) + (1 + e^2 \cos 2B)(\omega_X \sin L - \omega_Y \cos L) - \rho'' e^2 m \sin B \cos B;$$
$$\Delta L = \frac{\rho''}{(N+H)\cos B} (-T_X \sin L - T_Y \cos L) - \frac{\rho''}{(N+H)\cos B} (-T_X \sin L - T_Y \cos L) - (2.8) - tg B(1 - e_E^2)(\omega_X \cos L + \omega_Y \sin L) + \omega_Z;$$

$$\Delta H = T_X \cos B \cos L + T_Y \cos B \sin L + T_Z \sin B - \frac{a_E \Delta a_E}{N} + \frac{e_E^2 N \sin^2 B}{2} + e_E^2 N \sin B \cos B \left(\frac{\omega_X}{\rho''} \sin L - \frac{\omega_Y}{\rho''} \cos L \right) + m(N + H - e_E^2 \sin^2 B)$$
(2.9)

Здесь

$$\Delta a_E = (a_E)_{WGS-84} - (a_E)_{CK-42}; \tag{2.10}$$

$$\Delta e_E^2 = (e_E^2)_{WGS-84} - (e_E^2)_{CK-42}; \qquad (2.11)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}};$$
 (2.12)

$$M = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B^3}};$$
(2.13)

Алгоритм преобразования координат по Молоденскому в СК-42 представлен на рис. 2.7

Этапы вычислений	Примечание
(х,у, h) _{СК-42реальные}	Значения координат в
	проекции Гаусса-Крюгера,
	нормальных высот с топокарт
$(x,y)_{CK-42peanbhie} \longrightarrow (B,L)_{CK-42peanbhie}$	Перевод в эллипсоидальные
	координаты по формулам
	(1.11-1.15)
(B,L,H) WGS-84 (B,L,H) CK-42 оцениваемое	7-параметрическая модель
	Молоденского (2.4-2.6)
(B,L,H) _{СК42 реальные} (=?)(B,L,H) _{СК-42 оцениваемые}	Вычисление разницы
	реальных и преобразованных
	(оцениваемых) координат

Рис.2.7. Алгоритм перехода из WGS-84 в СК-42 в эллипсоидальных координатах и оценки точности параметров трансформации.

Для программной реализации алгоритмы были использованы модели трансформации плоских координат (х,у) в эллипсоидальные (B,L) и прямоугольных (X,Y,Z) в эллипсоидальные (B,L), описанные в главе 1 (1.11-Значения высот, полученные с топокарт, представляют собой 1.15). нормальные высоты, в то время как преобразованные, есть высота над эллипсоидом Красовского. Таким образом, координаты ПУНКТОВ международной сети КІТЗ, ТАЅН, МТАL, МАDК из системы WGS84 были преобразованы в систему СК-42 с использованием опубликованных параметров трансформации и на первом этапе вычислены разности между значениями координат в WGS-84 и СК-42 для каждого набора параметров преобразования. Далее были получены условно названные «действительными» значения координат с топографических карт и для них также вычислены соответствующие разности между двумя опорными системами. Результаты полученных разностей между координатами в двух системах (СК-42 – WGS-84) приводятся в табл. 2.9 - 2.10 и на рис.2.8.

Таблица 2.9

Разность значений СК42 (вычисленных, действительных) и WGS-84
координат для широтного N (м) и долготного E (м) компонентов

Пункт	Реа зна	альные ачения	ГО 51794	CT 2008	ERI IMA Pulkov	DAS GINE 70 1942	ER IMA Syste (Пу.	DAS AGINE m 42/83 лково)	EF	rsG
	N, м	Е, м	N, м	Е, м	N, м	Е, м	N, м	Е, м	N, м	Е, м
KIT3	-9,23	367,41	-9,15	79,93	-2,07	0,09	- 2,04	0,09	1,23	- 14,18
MTAL	- 53,93	-200,38	-17,06	74,70	-2,02	0,09	- 1,99	0,08	0,65	- 13,13
MAD K	-0,71	-1436,82	-8,29	79,14	-2,08	0,09	- 2,04	0,09	1,25	- 14,30
TASH	-8,68	-12,36	-14,93	77,27	-2,04	0,09	- 2,00	0,09	0,84	- 13,41

Таблица 2.10

Разность значений СК42 (вычисленных, действительных) и WGS-84

			ERDAS			
	Реальные	ГОСТ 51794-	IMAGINE	EKDAS		
Пункт	значения	2008	Πνπκοβο	IMAGINE System	EPSG	
		2000	10.42	42/83 (Пулково)		
			1942			
KIT3	12,511	36,261	-107,492	-116,656	-108,919	
MTAL	34,319	38,855	-107,622	-116,786	-109,051	
MADK	-63,326	36,397	-107,470	-116,637	-108,897	
TASH	-9,703	37,907	-107,592	-116,755	-109,020	

координат для высотного компонента U (м)



Рис. 2.8. Разность значений СК42 (вычисленных, действительных) и

WGS-84 координат для различных пунктов.

Для трех из рассматриваемых станций, расположенных в горных районах (H>450 м) KIT3, MTAL, MADK полученные разности по долготе для топографических карт превышают 200 метров. Полученная разница обусловлена, вероятно, прежде всего современными деформациями, вызванными тектоническими движениями в регионе, которые обсуждались в И не учтены в современных решениях гл.1. которые параметров трансформации. В то же время, как видно из вышеприведенных табл., решения ERDAS IMAGINE Pulkovo 1942, ERDAS IMAGINE System 42/83 (Pulkow) и EPSG: 15865 по горизонтальным координатам очень близки к значениям координат WGS-84 и не позволяют обнаружить эффект влияния деформаций опорной системы. Для станции TASH, расположенной в равнинной области, решение, вычисленное с использованием данных ГОСТ Р 51794-2008, наиболее приближены к значениям по топокартам. Для высотного компонента координат значительный разброс данных (от 38 м для ГОСТ и до 108 м для решений ГИС-наборов) обусловлен как техническими параметрами проведенных классических измерений, так и точностью, задаваемой масштабом открытого доступа карт. Данные результаты подтверждают еще раз необходимость задания модели геоида (квазигеоида) преобразовании локальной СК-42 при между системой И новой геоцентрической системой республики. Для определения параметров преобразования между системами координат для исследуемой территории в первом подходе предлагается разбить территорию республики на три условные зоны: западную часть, восточную часть, включая горную область и Ферганскую долину. Причем, набор параметров по ГОСТ Р 51794-2008 может быть рекомендован для использования в равнинных областях (т.к. Ферганская долина, западная часть республики) на предварительном этапе проекта.

Для данных сети ФАГС разница между системами WGS-84 и СК-42 приведена на рис.2.9.



Рис.2.9. Разница между системами координат WGS-84 и СК-42 для территории республики по данным различных параметров преобразования

Программное обеспечение для перевода координат из локальной системы СК-42 в геоцентрическую систему координат WGS-84 использовано при предварительном уравнивании новой геодезической сети Ферганской долины.

§2.4. Разработка программного обеспечения для определения параметров преобразования координат из СК-42 в WGS-84 для территории Республики

С учетом практических задач, возникающих при построении опорной системы координат, в данной работе рассмотрена и программно реализована линеаризованная модель преобразования координат между двумя прямоугольными системами координат, которая для *i*-той точки сети представляется в виде:

$$X_{CK-42,i} = (X_{CK-42,npu\delta_{n,i}}) + A_i dp$$
(2.14)

где приближенные значения координат *X*_{*CK-42.npuбл.i*} в CK-42 вычисляются по известным параметрам перехода с использованием 7-параметрического преобразования Гельмерта (см.1.9) [33; с. 229-251, 79; с.7]. Матрица проекта *A*_i:

$$A_{i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & (\Delta X_{i}) & 0 & -(\Delta Z_{i}) & (\Delta Y_{i}) \\ 0 & 1 & 0 & (\Delta Y_{i}) & (\Delta Z_{i}) & 0 & -(X_{i}) \\ 0 & 0 & 1 & (\Delta Z_{i}) & -(\Delta Y_{i}) & (\Delta X_{i}) & 0 \end{bmatrix}$$
(2.15)
$$(\Delta X_{i}) = (X)_{CK-42,i} - T_{X},$$
$$(\Delta Y_{i}) = (Y)_{CK-42,i} - T_{Y},$$
$$(\Delta Z_{i}) = (Z)_{CK-42,i} - T_{Z}$$
(2.16)

Вектор неизвестных параметров *dp*:

$$dp = \left[dT_X, dT_Y, dT_Z, dm, d\omega_X, d\omega_Y, d\omega_Z \right]^I$$
(2.17)

§2.5. Выводы

В данной части диссертации изложены результаты экспериментальных исследований метода высокоточного позиционирования для обработки данных, полученных с опорных пунктов ГНСС сети, глобальных моделей и их параметров для определения связи между опорными системами WGS-84 и СК-42 с использованием аналитического и математического моделирования. Результаты данной главы опубликованы в работах [1A, 5A, 6A, 21A, 22A, 23A, 26A, 28A, 30A, 33A, 34A]:

1. Принимая в качестве основополагающего фактора при создании опорной системы национальной координат сохранение накопленного картографического потенциала, особенно на локальных территориях, и, необходимость одновременно, реализации каталога высокоточных спутниковых координат пунктов сети, недостаточную развитость на текущий момент геодезической инфраструктуры, в работе выполнена оценка точности обработки данных методом высокоточного позиционирования как альтернативы дифференциальному методу спутникового позиционирования и определению координат в режиме кинематики в реальном времени (RTK) построения спутниковой Существенным на начальном этапе сети. является метода зависимость ОТ точности недостатком данного И доступности продуктов (эфемерид и поправок часов) научной деятельности международных центров обработки ГНСС наблюдений.

2. Исследования методов обработки различных программ И, соответственно, моделей ионосферно-свободных комбинаций двух онлайн служб (Automatic Precise Positioning Service, APPS и Natural Resources Canada, CSRS) с принятым в качестве «эталонного» решения программного комплекса Bernese, показало, статическом режиме ЧТО В обработки достигается заявленная данными службами сантиметровая точность пунктов. Скорость обработки получения координат опорных И предоставления данных службой **APPS** оказалась эффективней чем

канадского сервиса. При этом, среднеквадратическое отклонение (СКО) для горизонтальных (Х, Y) и вертикальной (Z) компонент составило соответственно 12 мм, 12.5 мм, 8.5 мм для КІТЗ АРРЅ решения и 12 мм, 11.8 мм и 8.9 мм для CSRS решения для станции КІТЗ; 9.7 мм, 8.5 мм, 4.7 мм для FERG APPS решения и 11.3 мм, 8.2 мм и 4.1 мм для CSRS решения для станции FERG.

3. Среднеквадратическое отклонение разностей эталонного и вычисленных решений для эллипсоидальных координат (N, E, U) составило в среднем 2 мм по плану и 6 мм по высоте, обеспечивая заявленную данными службами точность уровня сантиметра. Но, были выявлены значительные расхождения между данными двух центров по высоте. Данные различия объясняются недостаточной изученностью (отсутствием) геоида в данном регионе и использованием глобальной модели EGM2008 для службы APPS и использованием модели геоида NAD83 для канадского сервиса.

4. Обработка измерений GNSS в момент землетрясения, произошедшего в Фергане 20.07.2011, 19:35 UT, М=6.1 подтвердила эффективность использования метода РРР для исследования роли приливных факторов В процессе подготовки землетрясений, обусловленных гравитационным воздействием Луны и Солнца, предлагаемой в современных работах исследованиям источников и механизмов по сейсмогенных процессов. Для достижения сантиметрового уровня точности определения абсолютных координат сделан вывод о необходимости использования 30 секундных суточных измерении и финальных решений орбит и поправок часов на 5 минутном интервале.

5. Выполнена оценка влияния локальных рельефных и факторов территории на параметры перехода между локальной СК-42 и геоцентрической WGS-84 системами координат с использованием 7-параметрических формул перехода Гельмерта и Молоденского. Учитывая отсутствие данных в системе СК-42 и необходимость привязки к отвесной линии для построения в дальнейшем локального эллипсоида, предложен

альтернативный метод определения «общих» точек с использованием астрономических координат станции Китаб, данных топографических карт.

6. Анализ точности параметров трансформации координат с использованием предлагаемой методики и высокоточных данных станций КІТЗ, МТАL, МАDК и ТАЅН выявил, что разность координат в двух системах для станций, расположенных в горных районах республики, превышает 200 метров по долготе. На основании этого можно сделать вывод, что преобразование координат должно строго выполняться с учетом геотектонического районирования области. С учетом тектоники региона необходимо выполнить оптимизацию и при необходимости дальнейшее уплотнение пунктов сети в зонах с высокой тектонической активностью. Набор параметров перехода между СК-42 и WGS-84 по ГОСТ Р 51794-2008 может быть использован только для равнинных областей республики. На предварительном этапе уравнивание сети может быть выполнено разбиением территории на области согласно рельефным особенностям.

7. Программно реализован алгоритм линеаризованной модели преобразования координат. Впервые разработаны алгоритмы и математические модели для пересчета координат между локальной СК-42 и геоцентрической WGS-84 системами координат для территории республики.

ГЛАВА III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

§ 3.1 Исходные данные и метод

Смещения земной поверхности на длительных интервалах времени вызывают перераспределение масс из одной зоны в другую и приводят к деформации системы координат. Для построения высокоточного каталога координат опорных станций, определяемых на основе спутниковых систем GPS, DORIS необходимо решить следующие задачи: выявление векового тренда и скрытых периодичностей в амплитудно-временных рядах станций сети, обоснование и интерпретация физических причин вековых и периодических изменений координат пунктов.

Данные международных пунктов (табл.1.1) представляют собой временные ряды, обработанные различными программными комплексами аналитических центров с использованием стандартов IERS 2010 [55; с.1-179] и различных моделей коррекции атмосферных и др. ошибок измерений. При дальнейшем исследовании основных компонентов временных рядов были использованы данные следующих аналитических центров:

геоцентрические координаты станций КІТЗ (c 21.03.199 _ по 10.03.2018) и TASH (19.10.2008 по 10.03.2018) обрабатываются программой EPOS.P8, разработанной Немецким центром исследования Земли (German Research Centre for Geosciences GFZ) и моделей второй кампании по анализу данных REPRO2 (IGS second Data Reprocessing Campaign). Последняя версия данной программы использует IGb08в качестве опорной и включает файл с спутниковой элементами приведения антенны igs08.atx, модель геопотенциала GPT2, Vienna Mapping Function (VMF) [176; c.61-67, 177; c.33-40].

- для станции DORIS KIUB использованы недельные решения аналитического центра CNES/CLS grg17wd03 в формате STCD (STation 89

Coordinate Difference), полученное по решению SINEX grgwd40 за период 03.06.2001 по 12.0.2016 [178; с. 2543-2560], обрабатываемые в пакете GINS/DYNAMO [179] и доступные на официальном сайте службы IDS [180];

- обработка данных новых станций МАDК (с 07.11.2012 по 05.12.2016) и МТАL (с 29.09.2014 по 05.12.2016) была выполнена в данной работе с помощью пакета GIPSY/OASIS II, разработанного в Jet Propulsion Laboratory (JPL). Стратегия высокоточного получения координат PPP [164; с. 5005-5017] с использованием утилиты gd2p.pl (GNSS data to position) применена для обработки сырых данных. Модели и стандарты, соответствуют стандартам IERS 2010 [55; с.1-179], включая модели приливов и отливов, модель тропосферы GPT2 [181; с. 1069–1073], горизонтальные градиенты тропосферы вычислены с использованием стратегии «random walk», угол горизонта 7°, поправки часов и точные эфемериды JPL.

Стратегии обработки данных различными центрами анализа приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Параметр	KIT3/TASH	MADK/MTAL
Центр анализа,	GFZ,	в данной работе,
программа	EPOS.P8	GIPSY/OASIS II (JPL)
Интервал измерений	30 сек	10 сек
Угол горизонта, °	15	7
Орбиты, поправки	IGS	JPL
часов		
Фазовый центр	igs08.atx	igs08.atx
антенны		
Модель тропосферы	GPT2	GPT2

Параметры анализа данных ГНСС различными центрами обработки данных

Для приведения к однородной системе все данные были выражены в локальной опорной системе (N: широта, E: долгота и U: высота). Временные ряды имеют разный интервал измерений и данных о доступности (табл.1.1), изменение наблюдаемой серии $S(t_i)$ было получено при условии, что $S(t_i) = 0$ для начального момента времени t_i (i = 1).

Задача исследования собственного движения станции и определения вариаций гравитационного короткопериодических потенциала Земли решается с использованием спутниковых измерений на более коротких интервалах времени, применяя статистические методы. Существует большое число методов, такие как регрессионный анализ, методы сезонной декомпозиции, анализ Фурье, различные методы сглаживания для анализа временных рядов (отделение сигнала от шума, анализ детерминированной составляющей, фильтрация ряда). К их общим недостаткам можно отнести необходимость задания явной параметрической модели тренда и требование стационарности остатка.

Последовательность, успешно и регулярно измеряемая, называется временным рядом. Для каждой эпохи такие данные получаются независимо друг от друга. Особенностью же временного ряда является то, что успешные наблюдения обычно должны учитывать и момент наблюдения. При таких условиях последующие значения временного ряда могут быть предсказаны, а именно, построена прогнозная модель ряда. Это определение справедливо и для спутниковых ГНСС наблюдений. Временной ряд может быть представлен в виде аддитивной модели [182; с.201-208]:

$$S(t_i) = T(t_i) + C(t_i) + E(t_i)$$
(3.1)

в которой каждый компонент ряда $S(t_i)$, полученный в момент наблюдений t_i (i = 1, 2, 3, ..., N), включает тренд $T(t_i)$ – долгопериодический линейный компонент, изменяющийся во времени; периодическую составляющую $C(t_i)$ – циклические колебания, связанные с сезонными изменениями; стохастическую составляющую $E(t_i)$ – случайные или систематические флуктуации, связанные с внешними воздействиями, ошибками измерений и обработки. Процедура декомпозиции ряда на тренд и сезонный компонент включает несколько этапов. Для описания долгопериодического компонента, описывающего собственно движение станции, используют полиномиальную функцию порядка *m*:

$$T(t_i) = \sum_{k=0}^{m} a_k t_i$$
 (3.2)

здесь a_k (k = 1...m) – параметр, зависящий от степени полиномиальной функции.

После удаления тренда проводится анализ периодических компонентов ряда. Периодический (сезонный) компонент является годовым эластичным откликом на вариации массовой нагрузки на поверхность Земли из-за изменений атмосферного давления, увлажнения почвы и др. Главным образом эти факторы влияют на вертикальную составляющую координат опорного пункта. Сезонные изменения температурного режима также могут отразиться в сезонных изменениях координат. Периодическая часть временных рядов $C(t_i)$ моделируется обычно с помощью тригонометрической функции:

$$C(t_i) = \sum_{s=1}^{p} \left[b_s \cos(2\pi f_s t_i) + c_s \sin(2\pi f_s t_i) \right]$$
(3.3)

Коэффициенты a_k , b_s , c_s в уравнениях (3.2) и (3.3) определяются методом наименьших квадратов. Для неизвестных значений частот f_s (s = 1, 2, ..., p) периодического сигнала в (3.4) можно применить Фурье спектральный анализ. В работе была использована программа PERIOD04 [183; c.1-146], где амплитуда сигнала X(k) вычисляется с использованием выражения:

$$X(k) = \sum_{t_i=0}^{N-1} C(t_i) e^{-jk \frac{2\pi}{N} t_i}$$
(3.4)

где N – число наблюдений. И, мощность $P_{xx}(k)$ периодического сигнала может быть определена выражением:

$$P_{xx}(k) = |X(k)|^2$$
(3.5)

В случае аддитивной же модели вычисляется так называемый сезонный индекс для соответствующего месяца, который вычисляется усреднением всех значений временного ряда после удаления тренда (*D*) для данного месяца (*j*) по всему ряду:

$$\hat{S}_{j} = \frac{1}{n_{j}} \sum_{k} D_{j+12(k-1)}$$
(3.6)

Нерегулярный $E(t_i)$ компонент временного ряда определяется путем простого вычитания тренда и сезонного компонента из исходных данных. По полученным значениям тренда и периодического компонента моделируется прогнозная модель, на основе которой можно выполнить анализ остаточного стохастического компонента.

§ 3.2 Исследование тренда временных рядов опорных пунктов

В IERS настоящее время стандартами рекомендована ДЛЯ использования геологическая модель NNR – NUVEL- 1A [184; с. 2191-2194]. Наряду с эталонной существуют модели, созданные по результатам геодезических измерений, такие как GEODVEL2010, GSRM, ITRF2008 и др. [185; с.8-34, 186; с. 1-48, 187; с.1-14]. В работе будет выполнено сравнение собственного движения станций по аддитивной модели с результатами моделей NNR-NUVEL-1А, GSRM глобальных тектонических v1.2. GEODVEL2010, ITRF2008. Данные, использованные для создания моделей, а также угловые скорости Евразийской плиты приведены в табл.3.1.

Данные различных моделей плит, а также угловые скорости вращения

Модель	Использованые	ω _x	ω _y	ω _z		
	данные		10 ⁻⁹ рад/год			
NNR-NUVEL-1A	Геологические	-0.981	-2.395	3.153		
GSRM v1.2	GPS	0.054	-0.418	0.821		
ITRF2008	GPS, VLBI, SLR,	-0.083	0.534	0.750		
	DORIS					
GEODVEL 2010	GPS, VLBI, SLR,	EURA фиксирована				
	DORIS					

Евразийской (EURA) плиты

Связь между координатами угловой скорости тектонической плиты $(\omega_{x,}\omega_{y,}\omega_{z})$, координатами (N, E) и скоростями (v_{N} , v_{E}) станции определяется моделью вращения твердого блока [188; с. 5331-5354]:

$$\begin{bmatrix} v_N \\ v_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r\cos E\sin N & -r\sin E\sin N & r\cos N \\ r\sin E & -r\cos E & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix}$$
(3.7)

здесь r=6378136.49 м – радиус Земли.

Анализ тренда состоит в оценке параметров полиномиальной функции a_1 и a_2 в уравнении (3.2) методом наименьших квадратов. Коэффициент a_2 полиномиальной функции (Табл.3.2) показывает суточное (+) увеличение или (-) уменьшение направления линейного движения станций. Представленные результаты подтверждают северо-восточное движение станций опорной сети относительно Евразийской плиты. Но, коэффициент корреляции (R^2) выявил нелинейный тренд для высотного компонента всех пунктов и также проявляющийся в горизонтальных компонентах таких станций, как MADK и MTAL (R^2 <0.5). Временные ряды для широт и долгот станций и их уравнения движения представлены на рис.3.1- 3.4.

Таблица 3.2

Уравнение тренда, вкраженное полиномиальной функцией второго порядка $T(t_i) = a_1 + a_2 t_i$ и коэффициент корреляции R^2 для плановых (T_N , T_E) и высотной (T_U) компонентов временных рядов.

Пункт	$T_N(t_i)$	R_N^2	$T_E(t_i)$	R_E^2	$T_U(t_i)$	R_U^2
KIT3	- 645.02+0.0149 t_i	0.990	$-3278.1+0.0755t_i$	0.998	171.92-0.0041 <i>t</i>	0.118
KIUB	- 470.9+0.012 t_i	0.818	- 2753.0+0.075 t_i	0.979	120.9-0.003 <i>t</i>	0.204
TASH	$-529.49+$ $0.0123t_i$	0.913	- 3174.6+0.073 t_i	0.971	-62.169-0.0015 <i>t</i>	0.074
MTAL	- 266.1+0.006 t_i	0.044	$-3303.0+0.078t_i$	0.681	764.6-0.017 <i>t</i>	0.011
MADK	$-653.2+0.015t_i$	0.442	$-3017.0+0.073t_i$	0.893	- 103.8+0.002 <i>t</i>	0.005



Рис.3.1. Наблюдения и тренд для широтного (N) и долготного (E)

компонентов временного ряда пункта МТАL



Рис.3.2. Наблюдения и тренд для North (N) и East (E) компонентов временного ряда пункта MADK



Рис.3.3. Наблюдения и тренд для North (N) и East (E) компонентов

временного ряда пункта KIUB



Рис.3.4. Наблюдения и тренд для North (N) и East (E) компонентов временного ряда пункта KIT3



Рис.3.5. Наблюдения и тренд для North (N) и East (E) компонентов временного ряда пункта TASH

Величина горизонтального годового смещения пунктов (v_N , v_E) была рассчитана с использованием параметра a_2 уравнения тренда: $v = 365 * a_2$ (мм/год) и результаты были сопоставлены с данными глобальных моделей NNR-NUVEL-1A, ITRF2008, GEODVEL2010, GSRMv1.2 [189] (Табл.3.3). На основании полученных данных можно сделать следующие выводы. Результаты, представленные в табл. 3.3, показывают северо-восточное направление движения всех пунктов республики со средней скоростью 27 мм/год, большей частью обусловленное долготным дрейфом региона. Результаты вычислений скоростей для станций GPS показывают хорошую сходимость с моделями GEODVEL2010 и ITRF2008 в долготном компоненте, в то время как по широте результаты согласуются с моделями GSRM v1.2 и ITRF2008. Вероятно, разброс данных обусловлен, еще недостаточной плотностью GPS сети в нашем регионе, использованной в моделях. Значения горизонтальных скоростей (v_N, v_E) пунктов поданным аддитивной

Пункт	Аддитивная		GEO	JEODVEL		ITRF2008		NUVEL 1A		GSRM v1.2	
	модель		20	2010							
	$\nu_{\rm N}$	$\nu_{\rm E}$	ν_{N}	ν_{E}	ν_{N}	$\nu_{\rm E}$	$\nu_{\rm N}$	ν_{E}	$\nu_{\rm N}$	$\nu_{\rm E}$	
	мм/г	мм/г	мм/г	ММ/Г	мм/г	мм/г	мм/г	мм/г	мм/г	мм/г	
KIT3	5.44	27.55	2.98	27.67	4.12	28.18	0.24	25.98	3.81	29.71	
KIUB	4.38	27.38	2.98	27.67	4.12	28.18	0.24	25.98	3.81	29.71	
TASH	4.49	26.65	2.32	27.64	3.43	28.19	-0.45	25.97	3.09	29.70	
MADK	5.48	26.65	2.98	27.70	4.11	28.21	0.24	25.99	3.81	29.74	
MTAL	0.78	21.84	1.95	27.63	3.05	28.20	-0.84	25.95	2.69	29.71	

модели в сравнении с данными глобальных моделей

В табл. 3.4 представлены результаты определения скорости и направление движения GPS станций на территории Узбекистана. Как видно по табл.3, направление движения для всех станций северо-восточное. Результаты анализа также согласуются с данными короткопериодических кампаний CATS и др. исследований, описанных в гл.1. С другой стороны, для более точной оценки скоростей и направления движений станций необходимо также иметь более точную локальную модель тектонических плит региона.

Таблица 3.4

	GPS		GEODVEL2010		ITRF2008		NUVEL 1A		GSRM v1.2	
	Vr,	A, °	Vr,	A, °	Vr,	A, °	Vr,	A, °	Vr,	A, °
Пункт	мм/г		мм/г		мм/г		мм/г		мм/г	
KIT3	28.26	82.61	27.83	83.85	28.48	81.69	25.98	89.47	29.96	82.68
TASH	26.92	84.01	27.73	85.20	28.39	83.06	25.97	91.00	29.86	84.05
MADK	25.38	82.70	27.86	83.86	28.51	81.70	25.99	89.47	29.98	82.69
MTAL	24.10	84.86	27.70	85.96	28.37	83.83	25.96	91.85	29.83	84.82

Скорости и направления движения GPS станций.

§ 3.3 Исследование сезонных компонентов временных рядов опорных пунктов

После удаления линейно составляющей тренда, представляющий северо-восточное движение станций, был проведен анализ периодических компонентов временных рядов, т.е. долгосрочных периодических изменений (низкие частоты), возникающих в результате климатических, атмосферных и гидрологических нагрузок, ошибок спутников и опорной системы, как правило, на часовом, полудневном, полугодовом и годовом интервалах. Результат анализа Фурье по формулам (3.4) и (3.5), полученные с помощью программы PERIOD04, представлены в табл. 3.5.

Программное обеспечение вычисляет спектры Фурье неравномерно распределенного временного ряда и оценивает амплитуду A (мм) и фазу ϕ (мм) периодического сигнала. Выявлено, что амплитуда годового сигнала сильно отличается для различных станций. Амплитуды наилучшим образом аппроксимирующих синусоид колеблются для широты в диапазоне между 1.73 мм и 8.76 мм, для долготы в диапазоне между 0.82 мм и 11.92 мм и для высоты между 3.11 мм и 40.81 мм. Станции MADK и MTAL, расположенные в горных районах с сильным преобладанием гидрологического сигнала имеют наибольшие значения, который явно проявляется не только по высоте, но и в долготном компоненте (рис.3.5). Сдвиг сигнала (фазе) обусловлен прежде всего географическим расположением и близостью друг к другу станций. К примеру, согласование сдвига по фазе для пары (TASH-MTAL) показано в табл. 3.5, что обусловлено, вероятней всего, влиянием не только геофизических процессов, близким расположением Айдаро-HO И Арнасайской системы озер. Достоверность данного предположения подтверждается ошибками определения амплитуды и фазы годового сигнала.

Пункт	Широта (N)				Долгота (Е)				Высота (U)			
	Α	σ_{A}	φ	σ_{arphi}	Α	σ_{A}	arphi	σ_{arphi}	Α	σ_{A}	arphi	σ_{arphi}
KIT3	1.52	0.31	9.0	0.03	4.32	0.57	2.1	0.02	3.27	0.48	7.2	0.02
KIUB	2.67	0.41	4.5	0.03	4.04	0.87	10.5	0.03	3.67	0.47	11.6	0.02
TASH	1.52	0.17	1.5	0.02	1.02	0.21	2.2	0.03	8.48	0.47	0.1	0.008
MTAL	3.04	0.31	9.2	0.02	11.92	0.41	4.7	0.01	40.81	1.16	1.6	0.003
MADK	8.76	0.14	5.6	0.002	10.77	0.25	11.4	0.004	13.03	0.51	0.2	0.006

Амплитуда A (мм) и фаза φ (месяцы) с отклонениями σ (мм) годового периода сигнала временных рядов

Но, сдвиг сигнала по фазе (от 4.5 до 8.4 месяцев) продемонстрирован на примере станции Китаб для различных инструментов (GPS and DORIS). Данный результат подтверждает присутствие несезонного сигнала, вызванный изменением точности позиционирования инструментов [135; с.1-21]. Запуск спутников Jason-2 в апреле 2008 с новым маяком 3 поколения стали фактором, повлиявшим также и на нерегулярную стохастическую компоненту временного ряда, которую рассмотрим ниже.



Рис. 3.5. Амплитуда и фаза сезонного годового сигнала для широтного (N), долготного (E) и высотного (U) компонента временных рядов опорных

пунктов

Более сложная структура периодического компонента была выявлена в случае применения аддитивной модели и вычисления, соответствующего каждому месяцу сезонного индекса на основе выражения (3.6).Следовательно, периодических компонентов для анализа необходимо разработать комплексную модель, которая должна включать гидрологическую, геофизическую подмодели региона. Прогнозная модель временных рядов опорных пунктов по данным тренда и сезонного компонента показана на рисунках 3.6-3.9.



Рис.3.6. Наблюдения и модельный ряд станции Китаб (KIT3)



Рис.3.7. Наблюдения и модельный ряд станции Ташкент (TASH)



Рис.3.8. Наблюдения и модельный ряд станции Китаб (KIUB)



Рис.3.9. Наблюдения и модельный ряд станции Майдантал (MTAL)



Рис.3.10. Наблюдения и модельный ряд станции Майданак (MADK)

§ 3.4 Исследование стохастического компонента временных рядов

опорных пунктов

После удаления долгопериодического и сезонных компонентов проводился анализ стохастического (нерегулярного) компонента. Были взяты для исследования данные станции Китаб, полученные разными методами спутниковой геодезии, для возможности одновременной оценки как тропосферных, гидрологических нагрузок, так и исследования влияния инструментальных ошибок, метода обработки данных на стохастический компонент ряда. Стохастическая составляющая E (ti) для временного ряда высоты (U) для двух исследуемых рядов была определена удалением из исходных значений временного ряда тренда Т (ti) и сезонного S (ti) компонентов. С учетом того, что влияние указанных выше ошибок проявляется в вертикальной составляющей рядов, далее рассматривается только данный компонент временных рядов. Следует отметить, что серия наблюдений станции DORIS стала значительно менее «шумной» после переоборудования в 2003 году новым маяком 3 поколения. Сравнение стохастического компонента с тропосферными данными подтвердила температуры (57%, прямая) и давления (55%, корреляцию с данными обратная) (рис.3.11).



Рис.3.11. Стохастическая компонента высоты станций GPS, DORIS в Китабе (слева) и ее связь с изменениями температуры

§ 3.5 Выводы

В данной главе рассмотрено один из вариантов решения задачи построения кинематической опорной системы координат – декомпозиция (тренд, сезонный и стохастический компоненты) и вычисление прогнозных значений временных рядов по аддитивной модели. Высокоточные измерения геодинамических (IDS, IGS, REGINA) станций международных И гидрологических (CAWa) сетей КІТЗ, МАDK, ТАSH, МТАL выбраны объектами исследования. Обобщенный подход анализа был направлен на исследование программных моделей обработки данных, инструментов, наблюдения, расположения станций на различные компоненты временных рядов и выработку рекомендаций при инсталляции новых опорных пунктов сети республики. Результаты данной главы, опубликованные в работах [2А, 8А, 11А, 12А, 14А, 15А, 16А, 17А, 35А], показали, что:

1. Учитывая, что различные решения GNSS координат, полученные использованием программных продуктов отдельных аналитических С центров (EPOS.P8, GIPSY / OASIS II и др.) согласуются на уровне 1-3 мм в горизонтальных компонентах и 2-6 мм по вертикали и, соответственно, обработка применением различных стратегий, при С построении национальной опорной системы координат может оказать влияние на точность определения локального тренда, вызванного смещением позиций геоцентра между такими системами как ITRF и IGSb08, тренд и сезонные компоненты, особенно по высоте могут представлять собой не вертикальное движение относительно геоцентра, а являться артефактами конкретного подхода к анализу данных и разницы в системах отсчета. Поэтому рекомендуется использовать одновременно несколько различных программ для обработки исходных данных и сравнения координат новых станций сети республики.

2. Аддитивная модель временных рядов объясняет 98,5% общей вариации уровней временного ряда, что подтверждает высокую надежность
прогнозной модели, однако исследование отдельных составляющих рядов, особенно высотного компонента должны быть проведены в комплексе с новой деформационной моделью региона.

3. Результаты исследования собственного движения станций по аддитивной модели и сравнения с решениями глобальных тектонических v1.2, моделей NNR-NUVEL-1A, GSRM GEODVEL2010, ITRF2008 подтвердили северо-восточное направление движения станций относительно Евразийской плиты. Результаты стандартной геологической модели NNR-NUVEL-1А не согласованы с данными реальных измерений. Полученные результаты сопоставимы с данными модели ITRF2008, за исключением станции Майдантал. Для получения более достоверных оценок скоростей необходимо иметь равномерно распределенную, особенно в горных районах, сеть опорных станций.

4. Исследование долгопериодического компонента временных рядов показало наличие нелинейной части в вертикальной составляющей (U) координат всех станций и, также, по широте (N) высокогорных станций МТАL и MADK.

5. Впервые для данной области выполнены оценки сезонного годового сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье. Амплитуды годового сигнала колеблются для широты от 1,73 до 8,76 мм, долготы от 0,82 до 11,92 мм и высоты от 3.11 до 40.81 мм. Несмотря на присутствие сезонной нагрузки, вызванной поверхностными водами (особенно снега), проявляющейся в величине амплитуды годового сигнала MTAL и MADK, наблюдается смещение фазы северных для станций станций (TASH, MTAL), который объясняется геофизическими процессами, связанными с близким расположением озер Айдаро-Арнасайской системы. Различие фаз сигнала (от 4,5 до 8,4 месяцев) также выявлено для станции Китаб, использующей различные методы космической геодезии (GPS и DORIS), подтверждая несезонную картину периодического сигнала

109

вследствие совершенствования точности определения координат станцией DORIS.

6. Сезонная периодическая часть временных рядов, определяемая по аддитивной модели, имеет сложную структуру, вызываемую, повидимому, полусуточным, суточным, двухнедельным, месячным И приливной гидрологической долгосрочным периодами И нагрузки. Следовательно, только комбинированные исследование геодезических данных с гидрологическими моделями (например, GRACE) должны быть использованы при интерпретации сезонных изменений координат.

7. Анализ стохастического компонента временных рядов станции Китаб KIUB и KIT3 показал, что более стабильными являются ряды DORIS станции после 2003 года за счет улучшения точности определения орбит и позиционирования и инсталляции маяка 3 поколения.

8. Корреляция между тропосферными данными показала только 57% связь с изменениями температуры и 55% изменения вследствие изменения давления, доказывая необходимость построения отдельной модели шума для станций в будущем.

ГЛАВА IV. МЕТОДЫ УСТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ НОРМАЛЬНЫХ ВЫСОТ

§4.1. Исходные данные и метод

Ha практике нормальные высоты могут быть определены классического геометрического нивелирования. Применение данных методов ограничено расстояниями в связи с ограничением дальности наблюдения с нивелира, которое колеблется лишь в пределах 50-100 м. Для измерения расстояний между пунктами от десятков до сотен километров используется спутниковое нивелирование. Сегодняшний уровень развития технологий ГНСС В Узбекистане позволяет рассмотреть возможность замены классических методов высокоточным спутниковым GPS нивелированием и измерений коротких времени. проведением на промежутках Ho, эллипсоидальная высота, определяемая GPS приемниками, может быть преобразована в нормальную только при условии учета точной модели геоида данной области. И, несмотря на поддерживаемый приемниками GPS сантиметрового уровня точности, при отсутствии точной модели геоида результаты уравнивания высотной сети будут намного занижены. Одним из методов, используемых для построения геоида, стало комбинирование глобальных современных моделей гравитационного поля Земли С измерениями GPS.

M.C. Молоденским предложено измерять нормальные высоты относительно квазигеоида - эквипотенциальной поверхности, совпадающей со средним уровнем. Проведение измерений инструментами, вертикальная ось которых направлена по линии отвеса, позволяет рассматривать геоид в качестве истинной фигуры Земли. Но, для практических целей расчеты выполняются относительно другой математической поверхности эллипсоида. Высокоточная модель геоида необходима для определения связи высот, гравитационного потенциала, для установления связи между локальной и глобальной системами координат, решения задач геодинамики и

111

др. Истинная физическая поверхность Земли и связь между различными поверхностями показана на рис. 4.1 и представляется классическим соотношением [33; с.236]:

$$h = H + \zeta \tag{4.1}$$



Рис.4.1. Связь между различными высотами

Фундаментальное уравнение (4.1) связывает эллипсоидальные высоты, измеренные GPS (h), с высотами, полученными в локальной системе с помощью измерения аномалий силы тяжести (ζ) и нивелирования (H). Нормальные высоты (H) должны быть вычислены с точностью порядка определения высоты методами GPS. Для этого необходима высокоточная модель геоида, которая в свою очередь, может быть разделена на 3 составляющие: длинноволновую, средневолновая части и коррекция за счет рельефа. Первый компонент определяется с использованием глобальных гравитационных моделей Земли, второй – с использованием интеграла Стокса и третий член- с использованием цифровых моделей рельефа. Применение на практике уравнения (4.1) осложняется рядом факторов, среди которых [190; с.173-178]:

- случайные ошибки (шум) в определении значений h, H и ζ

- различие поверхностей относимости для разных типов высот и недостаточное знание связи между ними

- систематическими искажениями вследствие ошибок длинноволновой части геоида, не моделированных ошибок GPS, ошибок сети уравнивания

- геодинамические явления (т.к. оседание почвы, деформация тектонических плит вблизи зон субдукций и др.)

В данной части исследования решены две задачи: выполнена оценка двух новых степенных моделей гравитационного поля Земли и исследованы методы интерполяции для построения цифровой модели гравитационного поля для территории республики.

Для анализа были выбраны две глобальные гравитационные модели: модель Международного центра глобальных моделей Земли (International Centre for Global Earth Models – ICGEM) EIGEN-6C4 и модель Национального агентства геопространственных исследований Министерства обороны США (National Geospatial Intelligence Agency – NGA) EGM2008.

EIGEN-6C4 –конечная итерация модельного подхода, результат разработки И анализа нескольких последовательно созданных гравитационных моделей EIGEN-6C2, EIGEN-6C3stat. В результате вывода модели EIGEN-6C4 получен полный набор гармонических коэффициентов геопотенциала до 2190-й степени. По набору гармонических коэффициентов геопотенциала модель гравитационного поля Земли EIGEN-6C4 включает в себя детальные гравитационные аномалии в разрешении 2×2 минуты и константы, связывающие референц-эллипсоид использует те же И нормальное гравитационное поле, что и модель, EGM2008.

Анализ точности интерполяции нормальных высот для выбранной точки *Р* базировался на оценке разности:

$$\Delta \zeta(P) = \zeta_H(P) - \zeta_{EGM\,2008}(P) \tag{4.2}$$

113

здесь $\zeta_{H}(P) = H^{GPS}(P) - h^{клас.}(P)$ - аномалия высоты геоида [33; с.236] $H^{GPS}(P)$ – эллипсоидальная высота по GPS измерениям, $h^{клас.}(P)$ – интерполированные значения высот из базы данных BGI с использованием вышеуказанных методов, $\zeta_{EGM2008}(P)$ –высота геоида в точек P по модели EGM2008, вычисленная с использованием ур. (1.17).

В данном исследовании для получения значений нормальных высот выполнена оценка методов Natural Neighbor (NN), Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging (KR) и Topo to Raster (TR). На первом этапе для построения непрерывной области были получены значения нормальных высот по данным методам для точек Ферганской долины. Затем определена разность между высотой геоида по модели EGM2008 и значениями высот по GPS измерениям для каждого пункта.

Объектом исследования была выбрана территория Ферганской долины, расположенная между 39°≤φ≤44° и 65°≤λ≤75° и представляющая собой вытянутый эллипс, окруженный горными массивами. Для анализа выбраны 3 типа исходных данных:

1) значения эллипсоидальных высот 9 пунктов, определенные с 2010 по 2015 гг. с помощью ГНСС измерений в Ферганской долине [113; с.228-233] (рис.4.2).

2) результаты классического геометрического нивелирования 1 класса, выполненные в рассматриваемой области в период с 1911 по 1936 гг. различными учеными Ташкентской обсерватории и бывшего Военнотопографического отдела, т.к. Залеский, Померанцев. Данные получены из Международного гравиметрического бюро Тулузы [191; с.1186-1190] (рис.4.3)

3) значения аномалий геоида по модели EGM2008, вычисленные с использованием онлайн сервиса немецкого центра исследования Земли GFZ Calculation Service of the International Center of Global Terrestrial Models (ICGEM) [192; с.907-1205]. Глобальная модель представлена набором

114

гармонических коэффициентов геопотенциала до 2160-й степени и вычислена по наземным гравиметрическим данным и измерительной информации спутниковой системы GRACE. ICGEM сервис позволяет определить высоты геоида над эллипсоидом WGS-84 с шагом 1°х1°. Гравитационное поле Земли в данном случае представляется в виде ряда сферических функций, а высота квазигеоида определяется формулой 1.17 первой главы.



Рис.4.2. GPS сеть в Ферганской долине, использованная в работе



Рис.4.3 Пункты классического геометрического нивелирования и гравиметрических измерений на территории Ферганской долины по данным

Ферганская долина стала районом, в котором «для исследования влияния силы тяжести горных массивов Тянь-Шаня и Памира были проведены самые многочисленные и предшествовавшие зарубежным исследованиям измерения, показавшие наличие огромных уклонений отвесной линии, обусловленное, по-видимому ее орографией» [193; с.1-6]. Гравиметрические исследования современности показали к тому же наличие самых больших в мире аномалий силы тяжести.

§4.2. Сравнительное исследование методов интерполяции в разработке локальной модели геоида

Существующая государственная высотная основа Республики Узбекистан является фрагментом общей нивелирной сети на территории СНГ и базирована на Балтийской системе нормальных высот 1977 года. Началом отсчета Балтийской системы высот является нуль Кронштадского футштока. В связи с тем, что спутниковая высотная сеть находится на этапе реализации, на пунктах СГС-0 выполнены только контрольные измерения организацией BNZ Industrial Support, данные которой использованы для исследования. Измерения GPS проводились с использованием приемников Lieca GS10.

Схема расположения пунктов (табл.4.1) и расстояние между ними приводятся на рис.4.4.

Таблица 4.1

Пункт	Название	Широта	Долгота	Высота
KOKA	Коканд	40° 32' 37.27797"	70° 55' 11.00149"	366,248
GALA	Галаба	40° 35' 18.13868"	71° 23' 18.21454"	347,265
YAZV	Язъяван	40° 38' 58.57766"	71° 43' 13.49233"	383,634
FARD	Фергана	40° 23' 40.35757"	71° 46' 06.16906"	528,208
CHUS	Чуст	40° 59' 21.10144"	71° 15' 44.00128"	595,747
YANN	Янгикурган (Н	41° 13' 0.00422"	71° 42' 5.04581"	737,545
NAMD	Наманган	40° 59' 37.33207"	71° 39' 44.90001"	383,22
HAKK	Хаккулабад	40° 54' 22.46929"	72° 06' 50.49502"	397,971
ASAK	Асака	40° 39' 55.86954"	72° 11' 09.74972"	437,589
KURG	Кургантепа	40° 43' 43.60452"	72° 46' 16.11301"	678,379

Станции сети республики в Ферганской долине

116



Рис.4.4. Схема расположения пунктов сети Ферганской долины

EGM2008 Аномалии геоида модели были вычислены ПО С использованием онлайн сервиса немецкого центра исследования Земли GFZ Calculation Service of the International Center of Global Terrestrial Models (ICGEM). Данная служба на основе сферических гармоник геопотенциала формирует цифровую модель гравитационного поля Земли (ЦМ ГПЗ) выбранной билинейной территории c использованием техники интерполяции. ЦМ ГПЗ представлена в виде значений высот квазигеоида (ВКГ), аномалий силы тяжести (АСТ) и уклонения отвесной линии (УОЛ) в узлах равномерной сетки меридианов и параллелей [142: c.56-61], представленной в удобной для хранения в памяти ЭВМ форме. Данные значения могут быть пересчитаны на промежуточные значения сетки, используя различные методы интерполяции. В качестве лучшей модели гравитационного поля Земли в статистическом смысле будет выбрана модель с минимальной разницей высот в ур. (4.2). Но, следует отметить, что вышеупомянутые систематические и случайные эффекты также оказывают влияние на точность результатов и должны быть минимизированы методом наименьших квадратов в дальнейшем при построении сети.

Понятия цифровая модель рельефа, цифровая модель поверхности определяемая ГНСС методами или классическими измерениями, построение

поверхностей квазигеоида методом геометрического ГНСС нивелирования используют прежде всего понятие интерполяционной поверхности. Для исследования характеристик методов интерполяции поверхностей для определения нормальных высот данные, полученные методами естественного соседа (Natural Neighbor), обратно-взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting), кригинг (Kriging) и топо в растр (Topo to Raster) были оценены путем сравнения аномалий высот, вычисленных c использованием GPS-нивелирования и данным глобальной гравитационной модели EGM2008. Проанализирована разница между вычисленными и интерполированными значениями высот. В настоящее время программный ArcGIS комплекс предлагает пользователям несколько методов интерполяции поверхности (ближайшего соседа, обратного взвешивания расстояний, кригинг и топо в раст).

Создание непрерывной (прогнозируемой) поверхности должно быть проведено независимо от наличия реальных измерений в данной точке. При этом исходные данные могут быть распределены как по регулярной сетке, образом. Использование так И стохастическим интерполяционных поверхностей экономически выгодно для случаев труднодоступных (особенно горных) регионов. Для этого необходимо выбрать соответствующую модель интерполяции. Инструменты программы ArcGis на сегодня предлагают два типа интерполяционных методов: детермированные И геостатистические. Детерминированные методы используют математические модели сглаживающих поверхностей, которые используют данные, попадающие в окрестность исследуемого объекта. К ним относятся методы: обратно взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting), Естественной окрестности (Natural Neighbor).

Геостатистические методы базируются на анализе автокорреляции и проверке достоверности создаваемой интерполяционной поверхности. Среди них был выбран метод для создания рельефа Кригинг (Kriging) на основе обзора, данного в главе 1. Третий класс интерполяционных методов – это 118

построение изолиний (горизонталей) в основном используется для гидрологического анализа [160].

Результаты интерполяции выбранными методами Natural Neighbor (NN), Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging (KR) и Topo to Raster (TR). представлены на рис. 4.5-.4.8.



Рис. 4.5. Значения нормальных высот, вычисленных методом Natural



Рис. 4.6. Значения нормальных высот, вычисленных методом Inverse Distance Weighting



Рис. 4.7. Значения нормальных высот, вычисленных методом Topo to Raster



Рис. 4.8. Значения нормальных высот, вычисленных методом Kriging

Разница между четырьмя выбранными методами явно видна на 2-мерных графических картах. В первом приближении можно сделать вывод, что различные методы интерполяции практически одинаково представляют равнинную часть региона (пункты ASAK, GALA, KOKA, NAMI, HAKK), в то время, как для горных районов видна отчетливо разница между различными решениями (KURG, CHUS, YANN, FERG), зависящая от интерполяционного метода. Важным фактором, повлиявшим на полученный результат, является неоднородность распределения измерений классического геометрического нивелирования в горных районах и, соответственно, плохой изученности данных областей. В табл.4.2 даны значения эллипсоидальных высот и аномалий геоида по модели EGM2008, вычисленные с помощью ICGEM.

Таблица 4.2

Эллипсоидальные высоты и высоты геоида по модели EGM2008

Пуні	кт	Широта В,°	Долгота L,°	<i>Н^{GPS}</i> , м	$\zeta_{EGM2008}, M$
ASA	K	40,6655	72,1860	437,589	-47,73590012
GAL	A	40,5884	71,3884	347,265	-48,57845375
KOK	A	40,5437	70,9197	366,248	-47,40629863
KUR	G	40,7288	72,7711	678,379	-44,70985098
NAM	1 I	40,9937	71,6625	383,22	-47,50214008
HAK	K	40,9062	72,1140	397,971	-48,01803154
CHU	IS	40,9892	71,2622	595,747	-46,14539992
YAN	N	41,2167	71,7014	737,545	-45,05621435
FER	G	40,3945	71,7684	528,208	-46,33632449

для пунктов Ферганской долины

В табл.4.3 представлены результаты вычисления разницы между нормальными высотами, определенными по ур. (4.2) и значениями высот, полученными с помощью интерполяционных методов. Результаты демонстрируют уровень ошибки в пределах от 17 м до 47 м. Минимальное значение разницы высот варьируется от -23 м до -94 м, а максимальная разница составляет от 9 м до 47 м. На основании данных результатов можно сделать вывод, что метод Nearest Neighbor наиболее точно представляет

поверхность высоты для Ферганской долины. Следует отметить, что метод Topo to Raster (CKO = 22 м) объединяя вычислительную эффективность Inversely Weighted Distance, Kriging методов, позволяет более точно аппроксимировать неровности земной поверхности (например, ущелья, хребты, крутые скалы).

Таблица 4.3.

1		```		
Пинит		Δζ	, м	
ITYIIKI	NN	KR	IDW	TP
ASAK	-35,6451	-61,3351	-36,2731	-23,6421
GALA	-15,7075	-63,9285	-68,2415	24,3755
КОКА	17,5253	-39,0817	-0,1957	43,2063
KURG	1,0708	-94,4412	-52,4921	42,6509
NAMI	3,0091	-93,4589	8,9881	11,8561
НАКК	3,8710	-33,7870	4,5140	6,1010
CHUS	23,2184	34,2544	9,1104	22,9424
YANN	2,0052	31,4292	-41,5348	47,8752
FERG	6,0403	-68,2697	-0,6647	8,8483
СКО,м	17,4141	47,7139	29,9273	22,7567
Минимальное	-35,6451	-94,4412	-68,2415	-23,6421
значение, м				
Максимальное	23,2184	34,2544	9,1104	47,8752
значение, м				

Разница (м) между высотами, полученными различными методами интерполяции и вычисленными (GPS-модель)

Таким образом, два метода NN и TR являются наиболее подходящими для определения нормальных высот и могут быть использованы в практических геодезических приложениях. Полученные результаты показали, что точность установления нормальных высот зависит плотности распределения исходных данных, метода интерполяции и рельефа местности. Глобальные гравитационные модели Земли, т.к. EGM2008 могут быть использованы на

этапе уравнивания сети и уточнения локального геоида. Оптимизация конфигурации сети должна быть проведена для горных районов страны.

§4.3 Анализ точности глобальных гравитационных моделей Земли EIGEN-6C4 и EGM2008 по геодезическим данным применительно к Ферганской долине

Одно из направлений использования глобальных гравитационных моделей Земли- оценка статистических характеристик при вычислении трансформантов гравитационного потенциала (высоты квазигеоида ζ и аномалии силы тяжести в свободном воздухе Δg). Основной целью создания модели EGM2008 было получение высот геоида с точность 0.15 м. Использование новой спутниковой модели геопотенциала ITG-GRACE03S, методические улучшения точности обработки за счет использования конфиденциальных данных, к примеру для территории России, дополнение данных Мирового океана данными спутниковой альтиметрии и новой моделью динамической топографии морской поверхности значительно улучшили точность модели по сравнению с ее предшественниками. Но, в то время как влияние погрешностей гармонических коэффициентов EGM2008 на точность вычисления высоты квазигеоида и уклонения отвесных линий, в целом по земной поверхности оценивается СКП на уровне 11 см и 1" соответственно, то для территории республики они достигают 35 см и 3.5", что обусловлено наличием доступной измерительной информации и точностью самих моделей (рис.4.9) [144; с.1-6].





Данная часть исследования была направлена на оценку точности двух моделей гравитационного поля Земли EIGEN-6C4 и EGM2008 и выбор наиболее подходящей для построения локального геоида и определения системы высот для территории республики. Значения высот и ускорения силы тяжести, определенные классическими инструментами (пассажный инструмент и гравиметры) были интерполированы на выбранные пункты с использованием, выбранного в предыдущей части главы, метода топо в растр (рис.4.7). Сравнение проводилось в два этапа: по разностям аномалий высот, вычисленных по результатам нивелирования I класса и по приращениям ускорения силы тяжести, вычисленного по гравиметрическим измерениям. Значения высот в определяемых пунктах по моделям EGM2008, EIGEN-6C4 получены на основании данных ICGEM И полученные методом интерполяции по результатам классического геометрического нивелирования приводятся в табл.4.4. Минимальная разность высот между модельными и измеренными данными составила -9.04 м, максимальная разность равна 9 м (табл.4.5). Максимальная разность между измеренными и модельными результатами равна 9 м для станций, расположенных близко к горным районам (т.к. Янгикурган, Кургантепа, Чуст). Следовательно, ЛЛЯ определения нормальных высот на пунктах Ферганской долины на этапе создания координатной основы могут быть использованы как EIGEN-6C4, так и модель EGM2008.

Таблица 4.4

		-	
Пункты	Нклас, м	Н _{EIGEN-6C4} , м	Н _{ЕGM2008} , м
TASH	471.64	463.05	463.05
BESH	396	394.00	394
CALA	391	392.00	392
KOKA	396.07	402.00	402
KURG	705	706.00	706
NAMI	446	446.00	446
HAKK	442.04	433.00	433
CHUS	618.64	624.00	624
YANN	772	781.00	781
FERG	571	573.23	573.23
ANDJ	457	459.18	459.18

Значения нормальных высот по глобальным моделям и классическому

нивелированию

Таблица 4.5

Разность между модельными и классическими измерениями

Пункты	EIGEN-6C4,m	ЕСМ2008,м
TASH	-8.59	-8.59
BESH	-2.00	-2.00
CALA	1.00	1.00
KOKA	5.93	5.93
KURG	1.00	1.00
NAMI	0	0
HAKK	-9.04	-9.04
CHUS	5.36	5.36
YANN	9.00	9.00
FERG	2.23	2.23
ANDJ	2.18	2.18
макс	9.00	9.00
МИН	-9.04	-9.04





Следующий этап состоял из анализа относительных высот. Вычисления выполнялись относительно опорного пункта международной геодинамической сети и классического гравиметрического пункта Ташкент. Основной задачей было определить влияние горных массивов Памира и Тянь-Шаня на исследуемые величины. Как видно из табл.4.6 и рис.4.11 значительное влияние (до 300 м) на величину разности оказывают «горные» станции, для которых среднее значение относительной высоты достигает 226 м для классических измерений и 240 м для модельных данных.





Пункты	классич.,м	EIGEN-6C4,м	EGM2008, м
TASH	0	0.00	0
BESH	-75.64	-69.05	-69.05
CALA	-80.64	-71.05	-71.05
КОКА	-75.57	-61.05	-61.05
KURG	233.36	242.95	242.95
NAMI	-25.64	-17.05	-17.05
HAKK	-29.6	-30.05	-30.05
CHUS	147	160.95	160.95
YANN	300.36	317.95	317.95
FERG	99.36	110.18	110.18
ANDJ	-14.64	-3.87	-3.87
min	-80.64	-71.05	-71.05
max	300.36	317.95	317.95
Равнин. районы	-28.91	-20.28	-20.28
горные области	226.91	240.62	240.62

Приращение высот относительно пункта Ташкент

Согласно данным аномалий высот, полученным как с помощью глобальных гравитационных моделей, так и астрономо-геометрическим нивелированием, можно предварительно сделать вывод, что равнинная часть Ферганской долины (станции BESH, KOKA, CALA, FERG, ANDJ, HAKK, 29 NAMI) характеризуется вертикальными смещениями до М для классического геометрического нивелирования и 21 м для гравитационных моделей EIGEN-6C4 и EGM2008. Наибольшее значение аномалий высот демонстрирует горная часть (пункты CHUS, YANN, KURG). Среднее значение аномалий высоты для горных районов достигает 227 м для классических инструментальных измерений и 240 м для моделей EIGEN-6C4 и ЕGM2008.

На рис. 4.12 приведены реальные значения нормальных высот и скорректированные с учетом аномалий геоида EGM2008 и интерполированные методом топо в растр на узлы сетки, вычисленные с помощью предложенного в 2.2. метода локальной привязки.



Рис.4.12. Разница высот в WGS-84 и нормальных высот, определенных классическими измерениями (слева) и скорректированные с учетом аномалий геоида по модели EGM2008 (справа)

Значения широт и долгот пунктов были вычислены с помощью предложенной в 2.2. методики локальной привязки к пункту Китаб. Разность нормальных высот и высот, полученных GNSS измерениями достигает в среднем 40 м для территории. При учете аномалий геоида по модели EGM2008 среднее отклонение составило около 2 м. Картосхемы значений силы тяжести (рис.4.13) и разностей силы тяжести по модели и классическим данным (рис.4.14) на территорию Ферганской долины (табл. 4.6) подтвердили значительные аномалии уклонений силы тяжести в данном регионе от -9 мГл до 19 мГл.



Рис.4.13. Значения силы тяжести на территорию Ферганской долины по классическим гравиметрическим измерениям(слева) и модели EGM2008

Таким образом для изучения гравитационного поля и силы тяжести для данной области результаты моделей глобального гравитационного поля Земли не подходят. Необходимо провести комплексные измерения по исследованию гравитационного поля.

Таблица 4.6

измерении и глобальных моделей гравитационного поля земли				
	Классические	EIGEN-6C4,	EGM2008,	EGM2008-
Пункт	измерения, мГл	мГл	мГл	класс., мГл
TASH	980065	980073,679	980075,175	10,175
BESH	979909,7	979895,486	979900,395	-9,305
CALA	979888,7	979889,995	979896,988	8,288
KOKA	979899,7	979897,306	979902,733	3,033
KURG	979862,1	979874,556	979880,868	18,768
NAMI	979919,5	979924,173	979931,009	11,509
HAKK	979909,4	979896,941	979905,727	-3,673
CHUS	979897,3	979905,649	979910,639	13,339
YANN	979889,4	979886,787	979890,115	0,715
FERG	979850,5	979839,123	979843,863	-6,637
ANDJ	979890,3	979883,496	979892,216	1,916

Значения силы тяжести (g, мГл) по данным гравиметрических измерений и глобальных молелей гравитационного поля Земли



Рис.4.14. Разность между классическими и модельными результатами для силы тяжести в районе Ферганской долины

Сравнение приращений ускорения силы тяжести, вычисленных относительно пункта Ташкент, данных гравитационных моделей и

инструментальных гравиметрических данных представлено в табл. 4.7 и на рис.4.15 показали различие между инструментальными и модельными данными до 10 мГл и подтвердили полученные выводы о несостоятельности моделей для исследования уклонений силы тяжести.





Ташкент по модельным и классическим гравиметрическим измерениям

Таблица 4.7

Значения ускорения силы тяжести по данным различных инструментов

относительно пункта Ташкент

Пункты	классические измерения, мГл	EIGEN-6C4, мГл	EGM2008, мГл
TASH	0.00	0.00	0.00
BESH	-155.30	-178.19	-174.78
CALA	-176.30	-183.68	-178.19
KOKA	-165.30	-176.37	-172.44
KURG	-202.90	-199.12	-194.31
NAMI	-145.50	-149.51	-144.17
HAKK	-155.60	-176.74	-169.45
CHUS	-167.70	-168.03	-164.54
YANN	-175.60	-186.89	-185.06
FERG	-214.50	-234.56	-231.31
ANDJ	-174.70	-190.18	-182.96
СКО	56.05	59.42034988	58.27186301
Среднее значение	-157.58	-167.57	-163.38

§4.4 Выводы

В данной части диссертационной работы проведено исследование точности глобальных гравиметрических моделей Земли EIGEN-6C4 и EGM2008 в комбинации с GPS измерениями как альтернативы классическим методам определения нормальных высот и переходу к спутниковому нивелированию на территории республики. Результаты исследования, опубликованные в работах [7A, 9A, 10A, 31A, 32A, 36A] позволили сделать следующие выводы:

- 1. Впервые для территории республики выполнен анализ глобальных моделей гравитационного поля Земли EIGEN-6C4 и EGM2008 для исследования возможности замены классического нивелирования спутниковыми методами определения нормальных высот.
- 2. Впервые выполнен анализ различных методов интерполяции для формирования локальной цифровой модели высот региона. Рекомендовано использовать для вычисления нормальных высот и построения в дальнейшем локального геоида методы ближайшего соседа (Nearest Neighbor) и топо в растр (Topo to Raster) (СКО 35 м).
- 3. Исходя из того, что разность между измеренными и модельными результатами равна 9 м для станций, расположенных близко к горным районам (т.к. Янгикурган, Кургантепа, Чуст) сделано заключение, что для GNSS-нивелирования на пунктах Ферганской долины на стадии создания координатной основы могут быть использованы как EIGEN-6C4, так и модель EGM2008.
- Однако, как было выявлено при анализе относительных высот (исходный пункт Ташкент), обнаружена значительная разница (до 24 м) между модельными и измеренными значениями высот, особенно для предгорных районов.
- 5. Картосхемы значений силы тяжести и разностей силы тяжести по модели и классическим данным на территорию Ферганской долины

подтвердили значительные аномалии уклонений силы тяжести в данном регионе от -9 мГл до 19 мГл, подтверждая влияние отрицательного аномального поля в данном регионе.

6. Таким образом для изучения гравитационного поля и силы тяжести результаты моделей глобального гравитационного поля Земли не могут быть применены без проведения дополнительных комплексных инструментальных исследований региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов изучения методов «Разработки национальной референцной системы координат Узбекистана на основе спутниковых технологий» сделаны следующие выводы:

1. Впервые выработаны технические рекомендации по выбору и оптимальной реализации национальной геоцентрической опорной системы координат для республики;

2. Впервые предложена и реализована методика определения координат «общих точек» для перевода координат в геоцентрическую систему с использованием астрономических определений уклонения отвеса;

3. Установлена зависимость точности преобразования и наборов, существующих и используемых на практике параметров перехода, от локальной к геоцентрической системе координат от рельефа территории;

4. Впервые разработаны алгоритмы и математические модели для пересчета координат между локальной СК-42 и геоцентрической WGS-84 системами координат для территории республики, на основе моделей разработанных алгоритмов И математических создан программный комплекс;

5. Выработаны рекомендации по использованию метода высокоточного позиционирования в статическом режиме для вычисления координат новых станций спутниковой сети республики;

6. Разработана прогнозная модель изменения координат опорных станций республики для оценки регулярных, сезонных и нерегулярных компонент, анализа тектонических, гидрологических, техногенных нагрузок;

7. Впервые выполнена оценка аномалий высот и приращения ускорения силы тяжести относительно опорного базиса для Ферганской

133

долины по данным классических измерений, топографических карт и глобальных гравитационных моделей EIGEN-6C4, EGM2008;

8. Разработана методика определения нормальных высот путем совместного использования данных спутникового GNSS-нивелирования и глобальной модели гравитационного поля Земли EGM2008 с помощью интерполяционных методов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- 1А. Фазилова Д.Ш. Редукция геоцентрических координат WGS-84 в локальные системы // Доклады Академии наук Республики Узбекистан.
 Ташкент, 2004. №4. С.29-31. (01.00.00; №7).
- 2А. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р., Кудратов С.Г. Сингулярное спектральное разложение временных рядов в деформационном анализе // Вестник Ташкентского университета информационных технологий. Ташкент, 2007. №4. С. 31-34. (01.00.00; №9).
- ЗА. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш., Аскаров А.М. Об установлении высокоточной системы координат Узбекистана // Вестник Узбекского географического общества. - Ташкент, 2008. - Вып.32. - С.133-135. (11.00.00; №6).
- 4А. Фазилова Д.Ш. Мирмахмудов Э.Р., Сафаров Э.Ю. О преобразовании геодезических систем координат // Вестник Узбекского географического общества. -Ташкент, 2010. - Вып.36. - С. 197-200. (11.00.00; №6).
- 5А. Фазилова Д.Ш. Некоторые результаты обработки данных GPS станций Китаб и Ташкент с помощью программного пакета BERNESE // Вестник Узбекского географического общества. - Ташкент, 2011. - Вып.38. -С.184-186. (11.00.00; №6).
- 6A. Fazilova D. The review and development of a modern GNSS network and datum in Uzbekistan // Geodesy and Geodynamics. Elsevier: China, 2017, V. 8, № 3, -pp. 187–192. (№ 3. Scopus; IF=1.10).
- 7А. Фазилова Д. Ш. К вопросу об определении нормальных высот на территории республики Узбекистан // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. - Ташкент, 2017, - №5, - С.38-41. (01.00.00; №7).
- 8А. Фазилова Д.Ш., Эгамбердиев Ш.А., Халикова А.В. Исследование основных составляющих временных рядов изменения координат Ташкентской станции Глобальной навигационной спутниковой системы

// Узбекский физический журнал. –Ташкент, 2017. -№5 (19). – С.262-267. (01.00.00; №5).

- 9A. Fazilova D., Magdiev H. Comparative study of interpolation methods in development of local geoid // International Journal of Geoinformatics, 2018, V.14, №1. -pp. 29–33. (№ 3. Scopus; IF=0.31).
- 10А. Фазилова Д.Ш., Эгамбердиев Ш.А. Исследование скорости движения GPS станций на территории Узбекистана// Доклады Академии наук Республики Узбекистан. - Ташкент, 2018. – №1. – С.47-49. (01.00.00; №7).
- 11А. Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. Программа обработки полевых измерений для построения опорных станций спутниковой геодезической сети // Свидетельство № DGU 02494 от 22.05.2012 об официальной регистрации программ для ЭВМ в Агентстве интеллектуальной собственности РУз.
- 12А. Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. Программа преобразования координат пунктов геодезической сети Узбекистана из системы WGS-84 в систему координат пользователя // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № DGU 03707 от 06.05.2016 г. в Агентстве интеллектуальной собственности РУз.
- К.Э. 13А. Фазилова Д.Ш., Эргашев Преобразование координат WGS84 to SK42 // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 04220 09.02.2017 DGU ОТ Агентстве интеллектуальной Г. В собственности РУз.
- 14А. Фазилова Д.Ш., Эгамбердиев Ш.А., Магдиев Х.Н. Анализ глобальных гравитационных моделей Земли EIGEN-6C4 и EGM2008 по геодезическим данным применительно к Ферганской долине // Труды Института прикладной астрономии РАН. Санкт-Петербург, 2017. – вып. 42. –С.133-137. (01.00.00; № 65).
- 15А. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш. О разработке проекта опорной точки спутниковой сети Узбекистана // Материалы Всероссийской 136

астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты Вселенной», Москва, 3-10 июня 2004 г. – Москва: Труды ГАИШ, 2004. -том LXXV. - С.233-234.

- 16А. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р. Исследование кинематических и динамических характеристик Китабской микроплиты // Современные проблемы астрономии в Узбекистане. - Ташкент, 2004. -С.23-26.
- 17А. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш. Сингулярное разложение матрицы временных рядов изменения координат опорной точки GPS станции в Китабе // Интерэкспо Гео-Сибирь-2005, I Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 27-29 апреля 2005 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2005. - Т.1, ч.2. - С.186-189.
- 18А. Фазилова Д.Ш. Исследование скорости движения Китабской станции //«Фан ва техника тараққиетида Қашкадарё олималарининг роли» мавзусидаги олима аёллар форуми материаллари. - Карши, 2005. – 220-222 б.
- 19А. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р. Предварительный анализ дрейфа GPS пунктов в Узбекистане // Интерэкспо Гео-Сибирь-2006, II Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 26-28 апреля 2006 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2006. - Т.1, ч.2. -С.127-131.
- 20А. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш., Аскаров А.М. Геодезическая основа для развития фундаментальных астрономо-геодезических работ в Узбекистане //Третья Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение КВНО-2009» 6-9 апреля 2009. -Санкт-Петербург, 2009, - С.271-272.
- 21A. Ibragimov I., Fazilova D. Some areas of using applied space technologies in Uzbekistan// International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications 30 November -2 December 2009. -Berlin, Germany, 2009. pp.81-84.

- 22А. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р., Алимухамедов И.М. О некоторых задачах по улучшению геодезической сети Узбекистана// Интерэкспо Гео-Сибирь-2010, VI Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 19-29 апреля 2010 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2010.- Т.1. ч.3. - С.27-30.
- 23A. Fazilova D. Development of high precision geodetic networks based on GPS measurements in Uzbekistan //Proc. 20th UN/IAF workshop on "GNSS Applications for Human Benefit and Development" 24-25 September 2010 Prague, Czech Republic. –p.16.
- 24A. Fazilova D.SH. Investigation Kitab-Tashkent baselines on the combination of different geodetic techniques // International DORIS Service Workshop 21-22 October 2010. Lisbon, Portugal, 2010. –p.34
- 25А. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р. Построение базовой линии Китаб-Ташкент геодезической сети Узбекистана по результатам GPSизмерений // Интерэкспо Гео-Сибирь-2011, VII Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 19-29 апреля 2011 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2011. - Т.1, ч.2. - С.189-193.
- 26А. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р., Фазилов А.Ш. О необходимости уточнения параметров СК-42 для топографических карт Республики Узбекистан // Четвертая Всероссийской конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение КВНО-2011» 10-14 октября 2011. -Санкт - Петербург, 2011. – С. 244-246.
- 27А. Фазилова Д.Ш. Развитие геодезической инфраструктуры республики Узбекистан на основе GNSS данных в рамках международных проектов// "Пулково-2012": материалы Всероссийской астрометрической конференции 1-5 октября 2012. -Санкт-Петербург, 2012. -С.72-73.
- 28А. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш. Вопросы использования данных спутниковых навигационных систем для построения геодезической сети Узбекистана// Интерэкспо Гео-Сибирь-2012, VIII Междунар. научн.

конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2012. - Т.2. - С. 268-270.

- 29А. Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. Использование метода РРР для обработки данных опорных станций геодезической сети Узбекистана// Пятая Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение КВНО-2013» 15-19 апреля 2013. - Санкт-Петербург, 2013. -С.336-337.
- 30А. Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. К вопросу создания геодезической основы для современной ГНСС сети Республики Узбекистан //Интерэкспо Гео-Сибирь-2015, XI Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 13-25 апреля 2015 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2015.- Т.1, ч.2. -С.93-97.
- 31A. Fazilova D. The establishment of a geodetic base for modern Uzbekistan GNSS network taking into account regional geodynamic features//Intern. Symposium Asia-Pacific Space Geodynamics Project on Geodetic Datum and Regional and Terrestrial Reference Frame Realization 24-28 August 2015. -Moscow, Russia, 2015. - pp. 33-34.
- 32А. Фазилова Д.Ш. Определение элементов ориентировки общеземного эллипсоида WGS-84 для пункта «Китаб» // Интерэкспо Гео-Сибирь-2016, XII Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 18-22 апреля 2016 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2016. - Т. 2, №2, - С. 97-102.
- 33А. Фазилова Д.Ш., Магдиев Х.Н., Халимов Б.Т. К вопросу определения локального геоида Республики Узбекистан //Физика фани муаммолари ва унинг ривожида истеъдодли ёшлар ўрни: Республика илмий-амалий конференцияси тўплами.- Тошкент, 2016. -С.83-85.
- 34A. Fazilova D.SH, Magdiev H.N. Creation a State GNSS network as a basic component of the National Geographic Information System of Uzbekistan// Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры: матер. 10-й Центральноазиатской ГИС конференции 28-30 апреля 2016, -Бишкек, 2016. – 3 (53). - С. 207-214.

- 35A. Fazilova D., Soudarin L., Saunier J. DORIS time series analysis by using ARMA models // International DORIS Service Workshop 31 October 1 November 2016. La Rochelle, France, 2016. –p.29
- 36А. Фазилова Д.Ш., Магдиев Х.Н., Эргешев И.М. Анализ глобальных Земли EIGEN-6C4 гравитационных моделей И EGM2008 ПО геодезическим данным применительно к Ферганской долине// Седьмая конференция «Фундаментальное Всероссийская И прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение КВНО-2017» 17-21 апреля 2017. -Санкт-Петербург, 2017. -С. 202-203.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография: в 2 т. -ГОУ ВПО СГГА. -М: Картгеоцентр, 2005. -Т.1. -334 с.
- Ehgamberdiev Sh., Eshonkulov S., Litvinenko E. Kitab as One of the Five Stations of the ILS: History and Present // Polar Motion: Historical and Scientific Problems ASP Conference Series, 2000. - Vol. 208. -pp.163-168.
- Щеглов В.П. Избранные труды. Астрономия. История науки. Популярные статьи. -Ташкент: Фан, 1989. – С.416.
- Белевич С.В., Бекбаев Г.К. Совершенствование национальной геодезической сети Республики Узбекистан с использованием приборов спутникового позиционирования // Земельные ресурсы Казахстана, 2006. - № 4 (37), -С.11-13.
- Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. -М.: Картгеоцентр, 2004. - 350 с.
- Макаренко Н.Л. Демьянов Е.В., Новиков Г.В. Единая государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95) / Под ред. А.А. Дражнюка. – М.: Федерал. служба геодезии и картографии России, 2000. – 34 с.
- Калмыков А.М. Китабской Международной широтной станции имени Улугбека 50 лет// Сб."Вращение Земли и геодинамика". -Ташкент: Фан, 1983, -С. 3-12.
- Вытнов В.А. Литвиненко Е.А., Малкин З.М., Наумов В. А., Организация службы времени на Китабской международной широтной станции // Изв. ГАО АН СССР, 1982, - № 200, -С.105-106.
- 9. Махматгазиев Б. Исследование изменяемости широты по параллельным наблюдениям двух Зенит-телескопах в Китабе за

период 1957.9-1967.2: дис. ... к.ф.-м.н. -Ленинград: Пулковская обсерватория, 1984. -195 с.

- Померанцев И.И. О фигуре геоида в районе Ферганской области // Записки ВТО. 1897, ч. LIV, -С.76-121.
- 11. Машимов М.М. К 100-летию составления в России первой карты геоида// Геодезия и картография, 1996, №8, -С.8-12.
- Фазилова Д.Ш. Развитие геодезической инфраструктуры республики Узбекистан на основе GNSS данных в рамках международных проектов// "Пулково-2012": материалы Всероссийской астрометрической конференции 1-5 октября 2012. -Санкт-Петербург, 2012. -С.72-73.
- Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. К вопросу создания геодезической основы для современной ГНСС сети Республики Узбекистан //Интерэкспо Гео-Сибирь-2015, ХІ Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 13-25 апреля 2015 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2015.- Т.1. ч.2. -С.93-97.
- Ron. C. Geophysical excitations of nutation//International physics symposium "New trends of development of fundamental and applied physics: problems, achievements and prospects". November 10-11 2016. -Tashkent (Uzbekistan), 2016. -pp. 1-7.
- Pail R., Kuhtreiber N., Wiesenhofer B., Hofmann-Wellenhof B., Steinbach
 O., Hoggerl N., Imrek E., Ruess D., Ullrich C. // The Austrian Geoid 2007.
 -Vermessung & Geoinformation, 2008, -№1, -pp. 3 14.
- Machotka R., Kuruc M., Volarik T. Local quasigeoid model creation from astrogeodetic measurements // Studia Geophysica et Geodaetica. 2013, -Vol. 57, <u>Issue 1</u>, - pp. 27–46.
- Hirt C., Bürki B., Somieski A. and Seeber G. Modern determination of vertical deflections using digital zenith cameras // J. Surv. Eng. 2010, №2, pp. 1–12.

- Машимов М.М. Уравнивание геодезических сетей. М: Недра, 1979. -367 с.
- Машимов М.М. Всеобщий взгляд на геоспутниковую технологию // Геодезия и картография, 1994, №3, - С.6-11.
- 20. Машимов М.М. Астрономо-геодезическая сеть в начале третьего тысячелетия // Геодезия и картография. -1994. -№3. -С.25-28.
- 21. Макаренко Н.Л. О современных задачах геодезии и топографии // Геодезия и картография. 1994. -№3. -С.23-24.
- Макаренко Н.Л., Демьянов Г.В., Зубинский В.И., Кафтан В.И., Майоров А.Н. Системы координат спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС// Геодезия и картография. 2000. -№6. - С.16-22.
- Абдурахманов Р.З., Демьянов Г.В., Кафтан В.И., Побединский Г.Г. Методические вопросы построения глобальных и региональных геодезических сетей // Проблемы и решения. 2013. -№2 (49). - С. 67– 70.
- Финкельштейн А. М. Фундаментальное координатно-временное обеспечение// Вестник Российской Академии наук. 2007. -том 77, М 7. С. 608-617.
- 25. Малкин З.М. Решение задач фундаментального координатновременного обеспечения классическими и спутниковыми методами. Дис. ... д.ф.-м.н. -Санкт-Петербург. 1997. - 245 с.
- 26. Татевян С.К. О роли космической геодезии в изучении глобальных изменений// Монография «Современные глобальные изменения природной среды». -М: Научный центр МИР, 2012 - т.3. -С.128-136.
- 27. Tatevian S.K. On the use of space Geodesy for Global Geodynamic Studies
 // Journal of Geodesy and Geomatics Engineering 2014. Vol.1. Number 1.
 pp. 38- 41.
- Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография: в 2 т. -ГОУ ВПО СГГА. М: Картгеоцентр. 2006. -Т.2. -360 с.

- Boucher C., Altamimi Z., Sillard P.: The International Terrestrial Reference Frame (ITRF97) // IERS Technical Note 27: Paris: Central Bureau of IERS -Observatoire de Paris, 1999. - ii, -192 p.
- Бурша М. Основы космической геодезии. Геометрическая космическая геодезия. -М: Недра, 1971, -129 с.
- Harvey B.R. Practical Least Squares and Statistics for Surveyors. 3rd revised with corrections. - Sydney, Australia: School of Surveying and Spatial Information Systems, UNSW. 2009. - p. 332.
- Torge W. Geodesy. //Second ed. W. de Gruyter, Berlin-New York. 1991.
 p.415.
- Hofmann-Wellenhof B. et all. GPS. Theory and Practice. New York: Springer-Verlag Wien. 1992, -326 p.
- 34. «О мерах по реализации инвестиционного проекта «Создание Национальной географической информационной системы».
 Постановление Президента №2045 от 2013 года. [Электронный ресурс].
 Режим доступа: http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=2242710
- 35. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан». Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3107042
- 36. «О применении и открытом использовании на территории Республики Узбекистан международных геодезических систем координат» Постановление Кабинета Министров республики Узбекистан. №1022. 26.12.2017 г. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <u>http://www.lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3481466</u>
- Beutler G., Mueller I., Neilan R. The International GPS Service for Geodynamics: development and start of official service on 1 January 1994// Bulletin of Geodesique. 1994. – 68, -pp. 39-70.
- Willis P., Fagard H., Ferrage P., Lemoine F.G., Noll C.E., Noomen R., Otten M., Ries J.C., Rothacher M., Soudarin L., Tavernier G., Valette J.J.
The International DORIS Service (IDS): Toward maturity, in DORIS: Scientific Applications in Geodesy and Geodynamics. P. Willis (Ed.) // Advances in space research. 2010, -45(12). -p.1408-1420, doi: <u>10.1016/j.asr.2009.11.018</u>

- Reigber Ch., Schwintzer P., Neumayer K., Barthelmes F., König R., Förste Ch., Balmino G., Biancale R., Lemoine J.-M., Loyer S., Bruinsma S., Perosanz F., Fayard T. The CHAMP-only earth gravity field model EIGEN-2 // Advances in Space Research. 2003. -Volume 31, Issue 8. -pp. 1883-1888.
- Schone T., Zech C. et all. A new permanent multi-parameter monitoring network in Central Asian high mountains – from measurements to data bases// Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 2013, -No. 2, -pp. 97–111.
- 41. Saunier J. Station re-location at Kitab (Uzbekistan) to get better visibility //
 IDS Newsletter. 2018. -No. 4. -pp.1-3.
- 42. REGINS network. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://spacegeodesy.nasa.gov/docs/2011/02_REGINAhostingsitev1_en.pdf
- 43. Herring T.A., Hager B.H., Meade B., Zubovich A.V.. Contemporary horizontal and vertical deformation in the Tien Shan //International seminar "On the Use of Space Techniques for Asia-Pacific Regional Crustal Movements Studies". Moscow, GEOS. 2002, p. 75-84.
- 44. Кайранбаева А.Б. Геодезический мониторинг и компьютерное моделирование геодинамических процессов на территории Северного Тянь-Шаня: дис. ... доктора философии (PhD). -Республика Казахстан. Алма-Аты. 2014. – С.145.
- Abdrakhmatov, K.Y. et al. Relatively recent construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present day crustal deformation rates// Nature. 1996, - 384, -pp. 450-453.
- Reigber Ch., Klotz J., Angermann D., Trapeznikov Y. A., Tatevian S. K., Makarov V. I., Abdullabekov K. N., Yuldashbaev T. S., Tsurkov V. G., Kurskeev A. K. Pamir — Tienshan GPS Project: Network, Observation 145

Campaign 92 and Analysis Strategy. In: Montag H., Reigber C. (eds)/ Geodesy and Physics of the Earth. International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg. 1993, -vol. 112, - pp. 42-45.

- 47. Хусомиддинов С. С. Актуальные вопросы сейсмологии в свете концепции защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. -Ташкент. 2007, -№ 4. С.10-15.
- 48. Эргешов И. М., Хусомидинов А. С., Хамидов Х. Л. Морфогенетические особенности Восточной части Западного Тянь-Шаня для организации GPS измерительных пунктов // Доклады АН РУз. Ташкент, 2016. № 3. С. 49–54.
- 49. Ярмухамедов А.Р. Современная геодинамическая активность земной коры и ее связь с сейсмичностью. -Ташкент: Университет, 1995. -130 с.
- 50. Хусомиддинов С.С., Хусомиддинов А.С. Явление нарастающей интенсификации приливных деформаций в области готовящегося землетрясения//Актуальные проблемы современной сейсмологии : сб. материалов Междунар. конф., 12-14 октября 2016 г. – Ташкент, 2016, -С. 338-334.
- 51. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Муминов М.Ю., Туйчиев А.И. О связи вариаций геомагнитного поля с сейсмогеодинамическими процессами в земной коре //Актуальные проблемы современной сейсмологии : сб. материалов Междунар. конф., 12-14 октября 2016 г. Ташкент, 2016, -С. 168-171.
- 52. Fazilova D. The establishment of a geodetic base for modern Uzbekistan GNSS network taking into account regional geodynamic features//Intern. Symposium Asia-Pacific Space Geodynamics Project on Geodetic Datum and Regional and Terrestrial Reference Frame Realization 24-28 August 2015. - Moscow, Russia, 2015. - pp.33-34.
- 53. Fazilova D.SH, Magdiev H.N. Creation a State GNSS network as a basic component of the National Geographic Information System of Uzbekistan//

Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры: матер. 10-й Центральноазиатской ГИС конференции 28-30 апреля 2016, -Бишкек, 2016. – 3 (53). - С. 207-214.

- 54. Ibragimov I., Fazilova D. Some areas of using applied space technologies in Uzbekistan// International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications 30 November -2 December 2009. -Berlin, Germany, 2009. pp.81-84.
- 55. IERS Conventions // IERS Technical Note 36 / Gérard Petit and Brian Luzum (eds.). -Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. -179 p.
- 56. IERS Annual Report 2016 / Edited by Wolfgang R. Dick and Daniela Thaller. International Earth Rotation and Reference Systems Service, Central Bureau. -Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2016. -195 p.
- 57. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. Analysis and results of ITRF2014 // IERS Technical Note; 38. -Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2017. - 76 p.
- 58. Чуйкова Н.А., Т.Г. Максимова, Т.С. Чеснокова, А.Н. Грушинский. Вертикальные движения земной коры по данным ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014 и их сравнительный анализ// Сб. докладов всероссийской конференции с международным участием, 3-8 октября 2016 г. Институт физики Земли РАН, г. Москва, 2016. - Том: 1. - С.292-297.
- Altamimi, Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modelling nonlinear station motions // J. Geophys. Res. Solid Earth, 2016. No.121. -pp. 6109– 6131. doi:10.1002/2016JB013098.
- 60. Татевян С.К. Использование спутниковых траекторных измерений для изучения динамики твердой земли современные проблемы

дистанционного зондирования земли из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли *из* космоса. 2005, - Том 2, № 1. -С. 40-48.

- 61. Boucher C., Altamimi Z., Sillard P. The International Terrestrial Reference Frame (ITRF97) // IERS Technical Note; 27. -Paris: Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, 1999. -ii, -192 p.
- Кафтан В.И., Малкин З.М., Побединский Г.Г., Столяров И.А. Отсчетные основы // Международный научно-технический и производственный электронный журнал «Науки о Земле», 2015. - №3. -С. 9–21.
- 63. Горобец В. П., Демьянов Г.В., Побединский Г.Г., Яблонский Л.И. Государственная геоцентрическая система координат Российской Федерации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь -2013. IX Международный научный конгресс: сб. материалов - Новосибирск: СГГА, 2013. – Т2. -С. 76-94.
- 64. Tatevian S.K., Attia G.F, Abou-Aly N., Ghoneim R., Hegazy M. Monitoring of global geodynamic processes using satellite observations. // NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 2014. - №3. – pp. 46–52.
- 65. Татевян С.К. Глобальная геодезическая система наблюдений GGOS и научное // Ш конференция ee значение Всероссийская «Фундаментальное прикладное координатно-временное И И навигационное обеспечение» (КВНО-2009) 6-9 апреля 2009: сб. материалов. - Санкт-Петербург: Институт прикладной астрономии PAH, 2009. - C.58- 61.
- 66. Smith D., Dan R., Hilla S. NOAA Technical Report NOS NGS. 2017. Nº62. 32 p.
- 67. Бовшин Н.А., Зубинский В.И., Остач О.М. Совместное уравнивание общегосударственных опорных геодезических сетей // Геодезия и картография, 1995. № 8. С.6-16.

- 68. Андреев В.К., Джанпеисов М.Э., Новиков Е.В., Сагындык М.Ж., Самратов У.Д., Филатов В.Н., Хасенов К.Б., Хвостов В.В. Состояние и актуальные проблемы модернизации ГГС Республики Казахстан // Геопрофи, 2013. - №1. - С.13-16.
- 69. Андреев В.К., Джанпеисов М.Э., Новиков Е.В., Сагындык М.Ж., Самратов У.Д., Филатов В.Н., Хасенов К.Б., Хвостов В.В. Состояние и актуальные проблемы модернизации ГГС Республики Казахстан // Геопрофи, 2012. - №6. - С.12-17.
- Chen J. Chinese Modern Geodetic Datum—Chinese Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS 2000) and Its Frame // Acta Geodetica et Cartographica Sinica, 2008. - №37(3). -pp. 269-271.
- Yuan Xi Yang. Chinese geodetic coordinate system 2000. // Chinese Science Bulletin. August 2009. Volume 54, Issue 15. P.2714–2721.
- 72. Blick G., Rowe G. Progress towards a new geodetic datum for New Zealand
 // Journal of the New Zealand Institute of Surveyors, 1997. №287. pp. 25-29.
- 73. Blick G., Donnelly N, Jordon A. The Practical Implications and Limitations of the Introduction of a Semi-Dynamic Datum A New Zealand Case Study
 // Geodetic Reference Frames, International Association of Geodesy Symposia, 2009. №134. pp.115-120.
- 74. Haasdyk J., Watson T. Data-mining in NSW: Working towards a new and improved Australian datum // Proc. of the 18th Association of Public Authority Surveyors Conference (APAS2013). Canberra, Australia, 2013. pp.85-102.
- Dawson J., Woods A. ITRF to GDA94 coordinate transformations // Journal of Applied Geodesy, 2010. V.4. pp. 189-199.
- Haasdyk J., Donnelly N., Harrison C., Rizos Chris, Roberts C., Stanaway R.
 Options for modernising the geocentric datum of Australia // CEUR
 Workshop Proceedings, 2014. №1142. pp.72-85.

- 77. Featherstone W.E., Filmer M.S., Penna N.T., Morgan L.M., Schenk A. Anthropogenic land subsidence in the Perth Basin: Challenges for its retrospective geodetic detection // Journal of the Royal Society of Western Australia, 2012. №95(1). pp. 53-62.
- 78. Janssen V. GDA2020, AUSGeoid2020 and ATRF: An Introduction // Proceedings of the 22nd Association of Public Authority Surveyors Conference (APAS2017) 20-22 March 2017. -Shoal Bay, New South Wales, Australia, 2017. - pp. 3-20.
- ГОСТ Р 51794–2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – С.16.
- Бойков В.В. Опыт создания геоцентрической системы координат ПЗ-90 / Бойков В.В., Галазин В.Ф., Каплан Б.Л. и др. // Геодезия и картография, 1993. – №11. – С.17–21.
- 81. Галазин, В.Ф. Совместное использование GPS и ГЛОНАСС: оценка точности различных способов установления связи между ПЗ-90 и WGS-84 / В.Ф. Галазин, Ю.А. Базлов, Б.Л. Каплан, В.Г. Максимов // «Навигация-97»: сб. трудов второй Межд. конф. «Планирование глобальной радионавигации», 24-26 июня 1997 г. -М: НТЦ «Интернавигация», 1997. -Т. I, II. – С. 299 – 310.
- Harvey, B.R. Transformation of 3D coordinates // The Australian Surveyor, 1986. -vol. 33, No. 2. - pp. 105-125.
- Kalyan G. An Approach to Determine Coordinate Transformation Parameter for Nepal GPS Network // Nepalese Journal on Geoinformatics, 2010. -2068.
 -pp. 9-13.
- 84. Pearson C., Snay R. Introducing HTDP 3.1 to transform coordinates across time and spatial reference frames // GPS Solutions, 2013. -Vol 17 (1), pp. 1-15.

- 85. Базлов Ю.А., Герасимов А.П., Ефимов Г.Н., Насретдинов К.К. Параметры связи систем координат// Геодезия и картография, 1996. -№ 8. -С. 6-7.
- 86. Непоклонов В.Б. Космические методы определения системы геодезических параметров Земли // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2006. -№4 (23). – С.7-16.
- 87. Гиенко Е.Г., Сурнин Ю.В. Об интерпретации масштабного параметра при согласовании локальных спутниковых геодезических сетей с государственной координатной основой // Интерэкспо Гео-Сибирь-2009, V Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 19-29 апреля 2009 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2009.- Т.1, ч.2. -С. 321-324.
- 88. Гиенко Е.Г. Регулярная методика оценивания параметров взаимного трансформирования локальных спутниковых геодезических сетей и государственной координатной основы. дис. ... к.т.н.: 25.00.32 / Е.Г.Гиенко; науч. рук. Ю. В. Сурнин; - Новосибирск, 2002. - 193 с.
- Zurutuza L., Sevilla M. Deformations Monitoring by Integrating Local and Global Reference Systems// Geodetic deformation monitoring: from geophysical to engineering roles: IAG Symposium Jaen, Spain, March 7-19, 2005.-pp.48-55.
- 90. Рудницкая Н.И. Совершенствование координатной основы республики Беларусь: автореф. дис. ... канд.тех.наук. М:МИИГАиК, 2012. -70 с.
- 91. Featherstone, W.E. An explanation of the Geocentric Datum of Australia and its effects upon future mapping // Cartography, 1994. -vol. 23, no. 2. pp. 1-12.
- 92. Featherstone, W.E. Addendum to: An explanation of the Geocentric Datum of Australia and its effects upon future mapping // Cartography, 1995. -vol. 24, no. 1. pp. 43-44.

- Lan D., Hanwei Z., Qingyong Z., Ruopu W. Correlation of coordinate transformation parameters// Geodesy and Geodynamics, 2012. -3 (1). pp. 34 -38.
- Leahy F.J., Collier P.A. Dynamic network adjustment and the transition to GDA94// The Australian Surveyor, 1998. -43(4). -pp. 261-272.
- Soler T., Marshall J. Rigorous transformation of variance-covariance matrices of GPS-derived coordinates and velocities // GPS Solutions, 2002, -6(1-2). -pp. 76-90.
- 96. Tomás S., Marshall J. A note on frame transformations with applications to geodetic datums // GPS Solutions, May 2003. -Volume 7, Issue 1. -pp. 23–32.
- 97. Mujtaba G. Accuracy of the Molodensky transformation parameters used in exploration and production industry for transformation between Everest and WGS84 Datums// PAPG/SPE 2004 Annual Technical Conference, 8-9 October 2004, Islamabad, Pakistan. 2004. -pp.1-8.
- 98. Дубинин М. Переход от одной системы к другой. Наборы параметров [Электронный ресурс]. -Режим доступа <u>http://gis-lab.info/qa/datum-transform-sets.html</u>
- 99. залуцкий В.Т. О преобразовании координат в спутниковой технологии// Геодезия и картография, 2000. - №7. - С. 17-24.
- 100. Фазилова Д.Ш. Редукция геоцентрических координат WGS-84 в локальные системы // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. -Ташкент, 2004. № 4, С.29-31.
- Fazilova D.SH. Investigation Kitab-Tashkent baselines on the combination of different geodetic techniques // International DORIS Service Workshop 21-22 October 2010. Lisbon, Portugal, 2010. –p.34.
- 102. Карелин Ю. П. Выделение сферических членов из формул проекции Гаусса – Крюгера // Науч. тр. Омского сельскохозяйственного ин-та, 1974. – Т. 120. – С. 14–18.

- 103. Медведев П.А., Новородская М.В., Совершенствование математических моделей проекции Гаусса – Крюгера для вычисления плоских прямоугольных координат по геодезическим координатам // Геодезия и картография, 2017. – Т. 78, № 8. – С. 10-19.
- 104. Христов В.К. Координаты Гаусса крюгера на эллипсоиде вращения. –
 М.: Геодез. Издат., 1957. 264 с.
- 105. Макаров А.П. Методика исследования точности формул для вычисления прямоугольных координат проекции гаусса Крюгера по геодезическим координатам // Экономические и социальногуманитарные науки, 2014. -С.80-83.
- 106. Машимов М.М. Планетарные теории геодезии. -М.: Недра, 1982. -261 с.
- 107. Levin B.W, Sasorova E.V., Steblov G.M., Domanski A.V., Prytkov A.S., Tsyba E.N. Variations of the Earth's rotation rate and cyclic processes in geodynamics // Geodesy and Geodynamics, 2017. -8. - pp.206-212.
- 108. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии тектоника плит и тектоника блоков //Геотектоника, 2004. -38 (1). -С. 3–20.
- 109. Уломов В.И. О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности // Физика Земли, 2004. - № 9. -С. 14 – 30.
- 110. Ибрагимов Р.Н., Плотницкий А.Ю., Садыков Ю.М.. Сейсмотектонические условия возникновения газлийских землетрясений / В монографии «газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. Ташкент: Фан, -1986. -С. 18-28.
- 111. Усманова М.Т. О геодинамических моделях и сейсмичности Центральной Азии. 2010. Seismology. [Электронный ресурс]. -Режим доступа:http://seismology.az/journal/adminka/filemanager/files/custom_file s/articles/2008/2007/2010. – C.91-98.
- 112. Хамидов Х.Л. Выявление морфокинетических показателей современной геодинамики Западного Тянь-Шаня // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы:

результаты исследований на количественной основе: матер. Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике. -Иркутск, 23–29 сентября 2012 г. – В 2-х т. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. Т. 2. -С.88-91.

- 113. Хамидов Л.А., Эргешов И.М., Махкамов С.М., Хамидов Х.Л. Оценки современных смещений центральной части Ферганской долины // Восемнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: сборник науч. материалов. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2017. -С.228-233.
- 114. Kaftan V.I., Gorshkov V.L. Malkin Z.M., Shestakov N., Steblov G. Geodynamics // International scientific, technical and industrial electronic journal «GeoScience», 2015.- №3.- p. 29-43.
- 115. https://www.unavco.org/dtdt/model
- 116. Кащеев Р.А., Р.В. Загретдинов, Р.В. Комаров. Проект сети постоянно действующих ГНСС станций для обеспечения высокоточного координатно-временного поля на территории республики Татарстан // Известия КазГАСУ, 2009. -№ 2 (12). - С.62-65.
- Parseliunas E., Buga A., Marozas L., Petniunas M., UrbanasS. Litpos a part of EUPOS // Geodesy and cartography, 2008. -34(2). pp. 50–57.
- 118. Фурман Б. Совершенствование геодезического обеспечения территории Республики Беларусь на основе применения спутниковых технологий // Земля Беларуси, 2008. -№4. – С.43-47.
- 119. Crook C., Donnelly N. Updating the NZGD2000 deformation model // 125th New Zealand Institute of Surveyors Conference 29-31 August 2013 -Dunedin, 2013. – pp. 40-46.
- 120. Kossougbeto P, Yessoufou J. Current status of coordinate basis of the Republic of Benin // Izvestia vuzov . Geodesy and aerophotography, 2014. No 1. -pp. 38-42.
- Chymyrov A. GNSS application trends in Central Asia // Nyugatmagyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár, 2014. -pp.1-14.

- 122. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш., Аскаров А.М. Об установлении высокоточной системы координат Узбекистана // Вестник Узбекского географического общества. Ташкент, 2008, - Вып.32, - С.133-135.
- 123. Мирмахмудов Э.Р., Фазилова Д.Ш., Аскаров А.М. Геодезическая основа для развития фундаментальных астрономо-геодезических работ в Узбекистане //Третья Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение КВНО-2009» 6-9 апреля 2009. -Санкт-Петербург, 2009, - С.271-272.
- 124. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р., Алимухамедов И.М. О некоторых задачах по улучшению геодезической сети Узбекистана// Интерэкспо Гео-Сибирь-2010, VI Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 19-29 апреля 2010 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2010.- Т.1. ч.3. - С.27-30.
- 125. Фазилова Д.Ш., Мирмахмудов Э.Р. Построение базовой линии Китаб-Ташкент геодезической сети Узбекистана по результатам GPSизмерений // Интерэкспо Гео-Сибирь-2011, VII Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 19-29 апреля 2011 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2011. - Т.1, ч.2. - С.189-193.
- 126. Savinykh V., Bykov V., Karpik A., Moldobekov B., Pobedinsky G., Demianov G. Kaftan V., Malkin Z., Steblov G. Organisation of the North East Eurasia Reference Frame // International scientific, technical and industrial electronic journal «GeoScience», 2015.- №3. - pp. 1-3
- 127. Кафтан В.И. Временной анализ геопространственных данных: кинематические модели: автореф. дис. ... доктора технических наук: 25.00.35; - Москва, 2003. - 46 с.
- Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. -М: Мир, 1974, - 406 с.
- 129. Данилов Д.Л., Жиглявский А.А. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница». Сб.СПбГУ, 1997. -308 с.

155

- Golyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A., Analysis of Time series Structure: SSA and Related Techniques. Chapman & Hall/CRC 2000, p.305.
- Dong D., Fang P., Bock Y., Cheng M., Miyazaki S. Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series //J. Geophys. Res., 2002. - 107(B4). pp. 2075.
- 132. Li J., Miyashita K., Kato T., Miyazaki S. GPS times series modeling by autoregressive moving average method: Application to the crustal deformation in central Japan // Earth Planets Space, 2000. -52. -pp.155-162.
- 133. Малкин З.М. Об определении случайных ошибок каталогов координат радиоисточников // Тр. Всероссийской астрометрической конф. "Пулково-2012", Изв. ГАО, 2013. -No. 220. -С. 59-64.
- Bogusz J., Figurski M., Annual signals observed in regional GPS networks, Acta Geodyn. Geomater., 2014. -Vol. 11, No. 2 (174). -pp. 125–131.
- 135. Klos A., Bogusz J., Moreaux G. Stochastic models in the DORIS position time series: estimates for IDS contribution to ITRF2014 // J. Geod., 2017. pp.1-21. https://doi.org/10.1007/s00190-017-1092-0
- 136. Khelifa S., Kahlouche S., Belbachir M. Analysis of position time series of GPS-DORIS co-located stations // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013. - 20. -pp. 67–76.
- 137. Khelifa S. Noise in DORIS station position time series provided by IGN-JPL, INASAN and CNES-CLS Analysis Centres for the ITRF2014 realization. in DORIS Special Issue: Scientific Applications of DORIS in Space Geodesy, F. Lemoine and E.J.O. Schrama (Eds.) // Advances in space research, 2016. -58 (12). -pp. 2572-2588.
- 138. Bogusz J., Klos A., On the significance of periodic signals in noise analysis of GPS station coordinates time series. GPS Solut, 2015. 478.
- 139. Gülal E., Dindar A., Akpınar B., Tiryakioğlu I., Aykut N., Erdoğan H. Analysis and management of GNSS reference station data // Tehnički Vjesnik, 2015. - 22 (2). -pp.407-414.

- 140. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М: Гос. Изд. Ф.-м. лит., 1963.-447 с.
- 141. Фазилова Д.Ш. Положение исходного пункта спутниковой сети Узбекистана на основе данных навигационных систем: дис. ... к.ф.-м.н.
 Ташкент, 2004. 136 с.
- 142. Непоклонов В.Б. Определение высот с использованием моделей геоида
 // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2007.
 -№ 3 (26). -С. 56–61.
- 143. Непоклонов В.Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования //Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2009. -№2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <u>http://www.credo-dialogue.com/journal.aspx</u>
- 144. Непоклонов В.Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли В автоматизированных технологиях изысканий И проектирования //Автоматизированные технологии изысканий И проектирования.- 2009.- № 3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.credo-dialogue.com/journal.aspx
- 145. Дмитренко А.П. Современные трансформации определения геоида: монография. – Кривой Рог: Минерал, 2012. –218 с.
- 146. Непоклонов И. Б. Использование методов космической геодезии для изучения планетарного геоида //Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2007. -№ 2(25). -С. 5-9.
- 147. Barthelmes F., Köhler W. International Centre for Global Earth Models (ICGEM), in: Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. et al. // The Geodesists Handbook , Journal of Geodesy, 2016. -90 (10). -pp. 907-1205.
- 148. Pavlis, N. K., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) // J. Geophys. Res., 2012. - B04406. – 117 p.

- 149. Пигин А.П., Березина С.В. Глобальная модель геоида EGM2008. Предварительный анализ // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2008. - № 3. - С. 63–66.
- 150. Гиенко Е.Г., Решетов А.П., Струков А.А. Исследование точности получения нормальных высот и уклонений отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008. Интерэкспо Гео-Сибирь-2011, VI Междунар. научн. конгр.: сб. материалов в 4 т., Новосибирск, 27-29 апреля 2011 г. -Новосибирск: СГУГиТ, 2011.- Т.1. -ч.2. - С. 186-191.
- 151. Soycan M., Soycan A. Surface modelling for GPS-levelling geoid determination // Newton's Bulletin, 2003. -No.1. -pp. 11–17.
- Meslem M.A. A gravimetric quasi-geoid evaluation in the Northern region of Algeria using EGM96 and GPS/Levelling // Newton's Bulletin, – 2005. -Issue 3. - pp. 18-26.
- 153. Basic T. Latest Geoid Determinations for the Republic of Croatia // Newton's Bulletin, 2005. - Issue 3. -pp. 82-91.
- 154. Mojzes M. Improvement of the gravimetric model of quasigeoid in Slovakia// Newton's Bulletin, 2005. Issue n' 3, December 2005. p. 27-31.
- 155. Gruber T. Evaluation of the EGM2008 gravity field by means of GPSlevelling and sea surface topography solutions // Newton's Bulletin (External Quality Evaluation Reports of EGM08), 2009. - Issue 4, April 2009. - pp. 3-17.
- 156. Jekeli C. Evaluation of EGM2008 globally, and locally in South Korea // Newton's Bulletin (External Quality Evaluation Reports of EGM08), 2009. -Issue 4, April 2009. – pp. 38-49.
- 157. Huang J. Evaluation of the GRACE-based global gravity models in Canada / // Newton's Bulletin (External Quality Evaluation Reports of EGM08), 2009. Issue 4, April 2009. pp. 66-72.
- 158. Roman D.R., Saleh J., Wang Y.M., Childers V.A., Li X., Smith D.A. EGM 2008 comparison with GPS/leveling and limited aerogravity over the United

158

States of America and its Territories // Newton's Bulletin (External Quality Evaluation Reports of EGM08), 2009. - Issue 4, April 2009. - p. 73-78.

- 159. Morgan P.J., Featherstone W.E. Evaluation EGM2008 over East Antarctica
 / // Newton's Bulletin (External Quality Evaluation Reports of EGM08),
 2009. Issue 4 pp. 317-331.
- 160. http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.5/tools/3d-analyst-toolbox/anoverview-of-the-raster-interpolation-toolset.htm
- 161. Dumitru P.D., Plopeanu M., Badea D. Comparative study regarding the methods of interpolation // Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering: proc. of the 1st European Conference of Geodesy & Geomatics Engineering (GENG '13), 2013. -pp. 32-37.
- 162. Erol B., Çelik R.N. Modelling Local Gps/Levelling Geoid With The Assessment Of Inverse Distance Weighting And Geostatistical Kriging Methods // Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress, Commission 4, 12-23 July 2004 - Istanbul, Turkey, 2004. - pp.14-18.
- 163. Mehramuz M., Zomorrodian H., Jalooli P. Comparing 10 Different Interpolation Methods Used to Determine Geoid quasigeoid Separation (Case Study in Iran) // J. Basic. Appl. Sci. Res., 2012. -2(8). -pp 8292-8299.
- 164. Zumberge, J. F., Heflin M. B., Jefferson D. C., Watkins M. M., Webb F.H. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks // J. Geophys. Res., 1997. – v. 102, No. B3. -pp. 5005-5017.
- 165. Bisnath S., Gao Y. Precise point positioning. A powerful technique with promising future// GPS world, 2009. April. -pp.43-50.
- 166. Rabah M., Elmewafey M., Farahan M. Datum maintenance of the main Egyptian geodetic control networks by utilizing Precise Point Positioning "PPP" technique // NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 2016. – No.5. -pp.96–105

- 167. Tétreault P., Kouba J., Héroux P., Legree P. CSRS-PPP: An Internet Service for GPS User Access to the Canadian Spatial Reference Frame // Geomatica, 2005. -Vol. 59, No. 1. - pp. 17-28.
- 168. Kouba, J. and Heroux, P. GPS Precise Point Positioning using IGS Orbit Products // GSD, NRCan, 2000. -pp. 1-18.
- Bernese GPS SoftwareVersion 5.0. User manual / Edited by Rolf Dach, Urs Hugentobler, Pierre Fridez, Michael Meindl. -Astronomical Institute, University of Bern, 2007. - 612 p.
- Rebischung P, Garayt B. Recent Results from the IGS Terrestrial Frame Combinations / In. Reference Frames for Applications in Geosciences. Ed. by Z. Altamimi, X.Collilieux, 2013. - pp. 69-74.
- 171. Фазилова Д.Ш. Использование метода РРР для обработки данных опорных станций геодезической сети Узбекистана//Труды Пятой Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение», КВНО-2013. 15-19 апреля 2013 г. Санкт-Петербург, 2013. - С.336-337.
- 172. Фазилова Д.Ш. Некоторые результаты обработки данных GPS станций Китаб и Ташкент с помощью программного пакета BERNESE // Вестник Узбекского географического общества, 2011, - Вып.38, -С.184-186.
- 173. Топографические карты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mapj42.narod.ru/map1/indext.html
- 174. Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. Программа обработки полевых измерений для построения опорных станций спутниковой геодезической сети / Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ в Агентстве интеллектуальной собственности РУз. № DGU 02494, 22.05.2012.
- 175. Фазилова Д.Ш., Фазилов А.Ш. Программа преобразования координат пунктов геодезической сети Узбекистана из системы WGS-84 в систему координат пользователя / Свидетельство о регистрации программы для

160

ЭВМ в Агентстве интеллектуальной собственности РУ3. № DGU 03707, 06.05.2016 г.

- 176. <u>Fritsche M., Deng Z.</u>, Ge M., Nischan T., <u>Uhlemann M.</u>, <u>Beeskow G.</u>, <u>Brandt A.</u>, <u>Bradke M.</u>, <u>Ramatschi M.</u> GFZ Analysis Center Technical Report 2015. - In: Jean, Y., Dach, R.(Eds.)/ IGS Technical Report 2015. -IGS Central Bureau and University of Bern, 2016. - pp. 61-67.
- Deng Z., Gendt G., Schöne T. Status of the TIGA Tide Gauge Data 177. In: Rizos, C., Willis, P.(Eds.), IAG Reprocessing at GFZ/ 150 Scientific Years: Proceedings of the IAG Assembly in Postdam. Germany, 2013, (International Association of Geodesy Symposia; 143, Springer International Publishing), 2016. - pp. 33-40.
- Capdeville H., Lemoine J.M. Activity of the CNES/CLS Analysis Center for the IDS contribution to ITRF2014// Advances in Space Research, 2016. -Vol. 58. -Issue 12. -pp. 2543-2560.
- 179. Marty J.C., Loyer S., Perosanz F., Mercier F., Bracher G., Legresy B., Portier L., Capdeville H., Fund F., Lemoine J.M., Biancale R., GINS: the CNES/GRGS GNSS scientific software. In: 3rd International Colloquium Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Programme // ESA Proceedings WPP326, Copenhagen, Denmark, August 2, September, 2011. http://ids-doris.org/images/documents/report/publications/ GINS_GRGSsoftware-Marty-2011.pdf.
- 180. http://ids-doris.org/network/ids-station-series.html
- Lagler K. et al., GPT2: Empirical slant delay model for radio space geodetic techniques // Geophysical Research Letters, 2013. No. 40. pp. 1069–1073.
- Айвазян С.А. Основы эконометрики: Учебник для вузов. 2 т., М.2002. -400 с.
- 183. Lenz P., Breger M. Communications. Asteroseismology, 2005. 146 p.

- 184. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F., Stein S., Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions// Geophys. Res. Lett., 1994. -21. -pp. 2191-2194.
- Kreemer C., Holt W.E., Haines A.J. An integrated global model of presentday plate motions and plate boundary deformation// Geophys. J. Int., 2003. -154. -pp. 8-34.
- 186. Argus D.F., Gordon R.G., Heflin M.B., Ma C., Eanes R.J., Willis P., Peltier W.R., Owen S.E. The angular velocities of the plates and the velocity of the Earth's centre from space geodesy// Geophys. J. Int., 2010. -18. -pp. 1-48.
- Altamimi Z., Métivier L., Collilieux X. ITRF2008 plate motion model // J. Geophys. Res., 2012. -117(B07402). -14 p.
- Minster J.B., Jordan T.H.. Present-day plate motions.//JRG 83, 1978 -B11, pp. 5331-5354.
- 189. https://www.unavco.org/dtdt/model
- Fotopoulos, G., Featherstone, W.E., Sideris, M.G. Fitting a gravimetric geoid model to the Australian Height Datum via GPS data. In: Tziavos, I.N. (Ed.), Gravity and Geoid 2002. Department of Surveying and Geodesy, Aristotle University of Thessaloniki, 2003. pp. 173–178.
- Drewes, H., Kuglitsch, F., Adam, J., Rozsa, S. The International Gravimetric Bureau// Journal of Geodesy, 2016. -Vol.90 (10). -pp.1186-1190.
- 192. Barthelmes, F. & Köhler, W., 2016. International Centre for Global Earth Models (ICGEM), in: Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. etal. //The Geodesists Handbook 2016, Journal of Geodesy (2016), 90 (10), pp. 907-1205, doi: 10.1007/s00190-016-0948-z

приложения





