

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
(СГУГиТ)

Кафедра инженерной геодезии  
и маркшейдерского дела

Дипломная работа соответствует установленным  
требованиям и направляется в ГЭК для защиты  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ *Е. К. Лагутина*  
(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА  
21.05.01 – Прикладная геодезия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ  
ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СТАНЦИИ NSKW ПО  
РЕЗУЛЬТАТАМ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРЕНИЙ

Выпускник \_\_\_\_\_ *В. Е. Терещенко*  
(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_ *Е. К. Лагутина*  
(подпись)

Консультанты \_\_\_\_\_ *Е. К. Лагутина*  
(подпись)

\_\_\_\_\_ *Е. К. Лагутина*  
(подпись)

Нормоконтролёр \_\_\_\_\_ *А. С. Репин*  
(подпись)

Новосибирск – 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
(СГУГиТ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ИГиМД \_\_\_\_\_ Е. К. Лагутина

«\_\_» \_\_\_\_\_, 2016 г.

ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме *дипломной работы*  
(бакалаврской работы, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту: Терещенко Вячеславу Евгеньевичу

Группа ПГ-51 Институт геодезии и менеджмента

Направление (специальность) 21.05.01 – Прикладная геодезия  
(код, наименование)

Код квалификации \_\_ Степень или квалификация специалист

Тема Определение скорости движения постоянно действующей станции  
NSKW по результатам спутниковых геодезических измерений

Руководитель Лагутина Елена Константиновна

Ученое звание, ученая степень руководителя к.т.н.

Место работы, должность руководителя кафедра инженерной геодезии и марк-  
шейдерского дела, ст. преподаватель

Срок сдачи полностью оформленного задания на кафедру 18.05.2016 г.

Задание на ВКР (перечень рассматриваемых вопросов):

1 Выполнить обзор современного состояния и методов определения тектониче-  
ских движений с использованием спутниковых геодезических измерений;

2 Выполнить обработку спутниковых измерений станции NSKW и проанализиро-  
вать величину и причины изменения координат за 5 лет;

Вопросы экономики:

1) Анализ экономических показателей проекта, расчет трудоемкости

2) Расчет сметы затрат на научно исследовательскую работу

Вопросы безопасности жизнедеятельности

1) Организация охраны труда на рабочих местах

2) Мероприятия по защите персонала в условиях ЧС

Перечень графического материала с указанием основных чертежей и (или) иллюстративного материала: \_\_\_\_\_ нет \_\_\_\_\_

Исходные данные к ВКР (перечень основных материалов, собранных в период преддипломной практики или выданных руководителем): спутниковые измерения станции NSKW с 2010 по 2016.

Консультанты:

по экономике Лагутина Е. К., кафедра ИГиМД, ст. преподаватель  
(ФИО, место работы и должность)

по вопросам безопасности жизнедеятельности Лагутина Е. К., кафедра ИГиМД, ст. преподаватель  
(ФИО, место работы и должность)

### ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

№ этапа	Этапы ВКР	Срок исполнения
1	Начало выполнения ВКР	18.05.2016
2	Подбор литературы и исходных материалов	18.05.2016
3	Выполнение исследовательских, экспериментальных, расчетных работ	19.05.2016
4	Выполнение графических (иллюстративных) работ	22.05.2016
5	Текстовая часть ВКР (указать ориентировочные названия разделов и конкретные сроки их написания)	23.05.2016
	1 Обзор современного состояния и методов определения тектонических движений земной поверхности - земная система отсчета и ее составные части; - движение тектонических плит, теория, причины; - методы определения смещений земной поверхности; - предварительный расчет величины геодинамических эффектов.	25.05.2016
	2 Определение фактических смещений станции NSKW - общие сведения; - описание источников исходных данных; - выполнение вычислений; - анализ результатов.	27.05.2016
	3 Анализ экономических показателей проекта, расчет трудоемкости	29.05.2016
	4 Обеспечение безопасности жизнедеятельности на производстве	29.05.2016
6	Первый просмотр руководителем	23.05.2016
7	Второй просмотр руководителем	30.05.2016
8	Срок сдачи ВКР на кафедру	01.06.2016

18 мая 2016 г.

Руководитель \_\_\_\_\_ Е.К. Лагутина  
(подпись)

Консультант: Е.К. Лагутина \_\_\_\_\_  
(ФИО, подпись)

Консультант: Е.К. Лагутина \_\_\_\_\_  
(ФИО, подпись)

Задание принял к исполнению и с графиком согласен \_\_\_\_\_  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Терещенко Вячеслав Евгеньевич. Определение скорости движения постоянно действующей станции NSKW по результатам спутниковых геодезических измерений

Место дипломирования: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Руководитель – канд. техн. наук, ст. пр. СГУГиТ Лагутина Е.К.

2016 г., специальность 21.05.01 «Прикладная геодезия», квалификация – Специалист.

70 с., 3 табл., 10 рис., 9 источников, 4 приложения.

СИСТЕМА КООРДИНАТ, ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩАЯ БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ, СПУТНИКОВЫЙ ПРИЕМНИК, МЕЖДУНАРОДНАЯ ГНСС СЛУЖБА, БАЗОВАЯ ЛИНИЯ, АНТЕННА ПРИЕМНИКА, СПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ЭФЕМЕРИДЫ, TRIMBLE BUSINESS CENTER.

В связи с повсеместным внедрением в геодезическое производство сетей постоянно действующих базовых станций становится актуальной задача учета динамики

Целью дипломной работы является определение скорости смещения станции NSKW, вызванное движением тектонических плит по данным спутниковых геодезических определений.

Для достижения цели решены следующие задачи:

– рассмотрены причины изменения положения постоянно действующих базовых станций;

– выполнен расчет положения пунктов Евразийской плиты на основании скоростей движения по модели NUVEL-1A;

– из ГНСС наблюдений вычислены положения пункта NSKW на эпохи 2010 - 2016 гг.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1.ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ .....	9
1.1 Земная система отчета и ее составные части .....	9
1.1.1 Составные части системы отсчёта.....	9
1.1.2 Земная система отсчета .....	1
	4
1.1.3 ITRS и ее реализация .....	1
	6
1.2 Движения тектонических плит, теория, причины .....	1
	9
1.3 Методы определения смещений земной поверхности .....	2
	2
1.3.1 Триангуляционный метод .....	2
	2
1.3.2 Лазерная локация спутников.....	2
	3
1.3.3 Радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой.....	2
	5
1.3.4 Глобальная навигационная спутниковая система ГНСС.....	2
	7
1.4 Предварительный расчет величины геодинимических эффектов.....	2
	9
1.4.1 Деформации спутниковых сетей вследствие процессов геодинимики .....	2
	9
1.4.2 Модели учета скоростей пунктов спутниковой сети .....	3
	1
2.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ СМЕЩЕНИЙ СТАНЦИИ NSKW .....	3
	4
2.1 Общие сведения.....	3
	4
2.2 Описание источников исходных данных.....	3
	7

2.2.1 Данные сети IGS.....	3
	7
2.2.2 Данные сети ПДБС НИ ГНСС НСО.....	4
	0
2.3 Выполнение вычислений.....	4
	1
2.3.1 Импорт данных и их контроль.....	4
	1
2.3.2Обработка базовых линий, технология, контроль.....	4
	4
2.3.3Технология и настройка уравнивания.....	4
	8
2.4 Анализ результатов.....	5
	0
3. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТА.....	5
	3
4.ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ КАМЕРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	5
	5
4.1 Классификация несчастных случаев в офисе.....	5
	5
4.2 Описаниедействий при чрезвычайных ситуациях в офисе.....	5
	7
4.2.1 Описание действий сотрудников офиса при пожаре.....	5
	7
4.2.2 Описание действий сотрудников офиса при террористической угрозе.....	5
	8
4.2.3 Описание действий сотрудников офиса при землетрясении.....	6
	0
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	6
	1
СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ.....	6
	2
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) – ПРЕДСКАЗАННЫЕ КООРДИНАТЫ СТАНЦИЙ IGS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА NSKW.....	6
	3
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) – СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАНЦИЙ IGS.....	6
	4
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) – РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ	

ЛИНИЙ НА РАЗНЫЕ ЭПОХИ .....	6
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) – РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ В ПРОГРАММЕ TRIMBLE BUSINESSCENTER И ИХ СРАВНЕНИЕ С КООРДИНАТАМИ, ПОСЧИТАННЫМИ НА ОНЛАЙН КАЛЬКУЛЯТОРЕ AUSPOS .....	5
	6
	9

## ВВЕДЕНИЕ

Точные координаты пунктов спутниковых геодезических сетей определяются относительным методом космической геодезии, где основной определяемой величиной является базовая линия. Точность измерений базовых линий в настоящее время характеризуются относительной величиной  $10^{-6}$ .

В результате минимально ограниченного уравнивания в общеземной системе с фиксацией координат исходного пункта спутниковой геодезической сети получается пространственное геометрическое построение, точно ориентированное относительно меридиана с погрешностью масштаба порядка  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$ . Важным моментом таких определений является выбор координат исходного пункта, поскольку в обычной геодезической практике эти координаты неизменны. Глобальные навигационные спутниковые системы являются динамическими, т. е. положение пункта определяется относительно созвездия спутников на момент наблюдений, ошибка в координатах исходного пункта может повлечь за собой деформацию всего построения.

Деформации спутниковых сетей могут быть вызваны двумя причинами:

– ошибки определения координат пунктов, связанные с математической обработкой;

– ошибки, связанные с геодинамическими процессами внутри планеты.

Если ошибки математики можно отследить, не отходя от компьютера, то вторую группу ошибок выявить гораздо сложнее.

Динамические процессы, происходящие в теле планеты, вызывают дрейф тектонических плит. Благодаря многолетним наблюдениям этого явления в последние 10-15 лет появились модели, описывающие эти движения. Эти модели основаны на множестве факторов, одним из которых является смещение положения пунктов на поверхности. Движение литосферных плит вызывает деформацию спутниковых сетей глобального и регионального масштаба, что может отразиться на геодезических измерениях. Поэтому актуальность данного исследования довольно высока.



Цель дипломной работы – выявить смещение исходного пункта сети постоянно действующих базовых станций наземной инфраструктуры ГЛОНАСС/GPS на территории Новосибирской области за счет геодинимических процессов из обработки спутниковых геодезических измерений.

Для достижения поставленной цели следует решить задачи:

- рассмотреть причины изменения положения пунктов сети постоянно действующих базовых станций;
- выполнить предварительный расчет изменения положения пунктов Евразийской плиты на основании модели NUVEL-1A;
- из ГНСС наблюдений вычислить положения пункта NSKW на эпохи 2010 - 2016 гг.

# 1 ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

## 1.1 Земная система отчета и ее составные части

### 1.1.1 Составные части системы отсчета

В начале дипломной работы пойдет речь о теоретических основах геодезических измерений. Так как все измерения в геодезии не могут быть не привязаны к какому-то началу, точке отсчета, то нужно определить само понятие системы отсчета. Ее можно поделить на несколько частей: система координат, датумы (параметры) и отсчетная основа. Далее рассмотрены каждая отдельно.

*Система координат.* По определению, система координат (СК) – это комплекс мер, реализующих метод координат, определяющий положение точки или тела с помощью чисел или других символов. А совокупность чисел, которые определяют положение заданной точки – называются координатами. В геодезии речь идет о том, что математическими средствами описывается геодезическая сущность координат. Конечно, систем координат огромное множество, начиная от гелиоцентрических, в которых начало системы лежит в центре масс Солнца, прочих звездных систем координат, и заканчивая местными локальными, которые вводят геодезисты, строители для ведения работ на уровне постройки дома. Если рассматривается геоцентрическая пространственная прямоугольная СК, то необходимо знать информацию о центре масс Земли, для задания точки отсчета, необходимо знать информацию об условном земном полюсе, на который направлена ось Z, и прочие характеристики. Для определения высот в СК также нужно понимать, чем отличаются геодезические высоты над эллипсоидом, нормальные высоты над квазигеоидом и др. Геодезическая высота равна сумме нормальной высоты и высоты квазигеоида. (Рисунок 1).

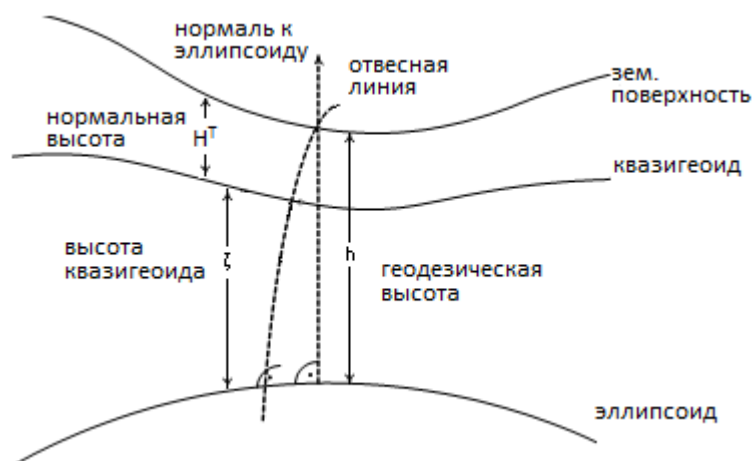


Рисунок 1 – Геодезическая высота

При рассматривании плоских прямоугольных систем координат, их использования зависит от выбранной картографической проекции. Тут большую роль играют правила трансформации координат. Следовательно, она заработает только лишь тогда, когда в отражающие геодезическую сущность математические формулы будут вставлены соответствующие параметры Земли.

Иногда в терминологии встречается понятие «географические координаты» и по этому поводу возникают различные недоразумения. Понятие географическая широта и долгота ввел Гиппарх во II веке до н. э. По его определению это такие угловые величины, определяющие положение любой точки в пространстве, относительно экватора и начального меридиана. Разумеется, такой термин в точной науке использовать не совсем правильно, между тем, они существуют и используются уже больше тысячи лет. В официальном ГОСТе по термину «географические координаты» сказано следующее: «это обобщённое понятие об астрономических и геодезических координатах, когда отклонения отвесных линий не учитываются». То есть, в тех случаях, где можно грубо, пренебрегая точностью, говорить о координатах и позиционировании, термин не является не верным.

*Датумы (Datum).* В переводе с английского звучит как «данная величина» или «исходный факт». Но на практике это такие параметры, которые нужны для различных геодезических преобразований, таких как перевод из одной системы координат в другую, например, из ПЗ-90 в местную систему при строительстве не-

кого объекта, преобразования различных геодезических измерений и прочего. Стандарт предлагает термин «исходные датумы» или «даты» как обобщающий геодезические, высотные, местные даты. Само понятие «даты» уже занято и используется в исчислениях времени. Двойное применение может вызвать путаницу и множество недоразумений, поэтому, в различных изданиях, переведенных с английского статей и научных публикациях термин «datum'ы» может считаться верным.

Исходные датумы имели большое значение в тех случаях, где ориентирование на референц-эллипсоиде производилось по единственному исходному пункту. В геоцентрических системах, где ориентирование выполняется с учетом множества факторов, типа уклонения отвеса, учетом высот квазигеоида, и прочего, исходный пункт не нужен. В таких случаях применяется термин «параметры Земли». Датумы и содержат параметры Земли и, поэтому эти определения являются синонимами. Они содержат в себе информацию о форме планеты, о ее гравитационном поле, модели квазигеоида, ориентации осей, с началом отсчета и других параметров. О связях с иными системами и математическими константами, вроде скорости света, так как с ее помощью определяются длины линий по времени распространения электромагнитных сигналов.

*Отсчетная основа.* По определению - это совокупность геодезических пунктов и/или других объектов и соответствующих им значений координат.

Эффективность применения любой геодезической системы координат зависит от качества реализации ее отсчетной основы. Она в свою очередь реализуется геодезическими сетями из совокупности геодезических пунктов, закреплённых на земной поверхности (для земных отсчетных основ), и чем тверже и надежнее такие пункты закрепляют устанавливают координаты, тем качественнее отсчетная основа любой системы.

Международное астрономическое сообщество (МАС) установило несколько земных и небесных систем пространственно-временного отсчета. Их довольно много, но основные из них следующие:

Барицентрическая система отсчета (BCRS) – система, в которой пространственно-временные координаты определяются для Солнечной системы.

Международная небесная система отсчета (ICRS) – система, в которой начало отсчета закреплено в центре масс Солнечной системы, координатные оси зафиксированы относительно далеких внегалактических источников радиосигналов.

Международная небесная отсчетная основа (ICRS) – ее практическая реализация есть каталог позиций множества внегалактических источников радиосигналов. Основана на измерениях, выполненных способом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой.

Геоцентрическая небесная система отсчета (GCRS) – связана с BCRS, их координатные оси параллельны и неподвижны относительно далеких радиоисточников. Не участвует в суточном вращении Земли.

Геоцентрическая земная система отсчета (GTRS) – система пространственно-временных координат, участвующая в суточном вращении Земли. Связана с небесной GCRS.

Международная земная система отсчета (ITRS) – международная геоцентрическая система координат, поддерживается различными службами вращения Земли (МСВЗ), МАС и другими, рекомендована для определения параметров движения объектов на Земле и вблизи нее.

Международная земная отсчетная основа (ITRF) – практическая реализация ITRS. Ежегодно обновляется уточняется дополняется новейшими данными, полученными из наблюдений ученых геодезистов методами: а) радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ); б) глобальными навигационными спутниковыми системами позиционирования (ГНСС); в) лазерной локации Луны; г) лазерной локации искусственных спутников; д) измерений доплеровской спутниковой системы DORIS. В мире более 4000 пунктов ITRF расположенные на материках и островах, в основном по дальше от тектонических хребтов для наименьших сдвигов. Они прочно закрепляют начало координат в центре масс планеты и ориентируют оси относительно экватора и начального меридиана. На их основе получают прак-

тические данные о смещении литосферных плит, движение которых достигает 2-3 сантиметров в год, и о геодинамических эффектах.

Существуют еще промежуточные небесные и земные системы отсчета и различные устарелые, на смену которым уже пришли приведенные выше системы, но они не часто или вообще не применяются на практике, и о них речь не пойдет.

Помимо мировых отсчетных основ существуют и основы конкретных стран. Европейская *European terrestrial reference frame* (ETRS), российская ГСК-2011 и другие.

ETRS – Европейская земная отсчетная основа, создана на базе международной ITRS, так же регулярно дополняется, уточняется, и при этом важную роль играют пункты *European permanent network* (EPN), на которых постоянно ведутся наблюдения приемниками ГНСС. Их работу поддерживают более ста европейских агентств, компаний и университетов.

ГСК-2011 или ГСК-11 – российская государственная система координат, введенная в 2011 году, на смену ПЗ-90.02. По параметрам она практически идентична международной системе, но реализуется, уточняется и дополняется посредством пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), городской геодезической сети (ГГС), спутниковая геодезическая сеть (СГС) и других, расположенных по большей части на территории Российской Федерации.

Кроме того, в научных публикациях геодезического журнала *Геопрофи* [3] описывается создание высотной основы, параллельное с реализацией плановых координат в различных системах. *Vertical reference frame* (VRF) – определяются реперами нивелирных сетей. В конце 70-х годов были попытки объединить нивелирные сети континентального уровня – западноевропейскую в Амстердамской системе высот с системой государств бывшего Советского Союза и государств Восточной Европы в Балтийской системе высот. В Северной Америки так же были попытки уровнять обширные нивелирные сети Канады, Мексики и государств центральной Америки. Но единообразия так и не достигли. По существу, речь идет об образовании единой глобальной высотной отсчетной основы *Global vertical reference frame* (GVRF), при помощи приведения систем высот всех крупных

стран к единой отсчетной уровенной поверхности заданного потенциала силы тяжести.

С учетом различия языков, ученым не так просто прийти к единой терминологии в описании сложных процессов; различная интерпретация многих явлений или научных опытов, помноженная на сложность перевода, приводит к разнообразию применяемой терминологии. Часто используются одни и те же системы или их части, но с разными наименованиями или названиями. В этом нет ничего особенного, важно, чтобы в процессе работы или обучения правильно понималась суть происходящего и не смешивались понятия.

### *1.1.2 Земные системы отсчёта*

При проведении работ, связанных с выполнением измерений и обработкой спутниковых наблюдений, а именно наблюдений движения постояннодействующей станции, важно разобраться в таких принципах работы этой системы, которые требуются квалифицированному специалисту. Чтобы грамотно обработать полученные данные, недостаточно знаний только программного обеспечения. Знания теоретической основы не будут лишними каждому пользователю ГНСС технологий.

Предметом рассмотрения в этой под главе будут особенности наименований земной системы отчета, без знаний которых понимать и вести осмысленную обработку ГНСС данных, вряд ли кому-то по силам. Суть в том, что они устанавливают систему координат, определяют параметры Земли и пункты геодезической сети. Земные системы отсчета можно классифицировать по территориальному охвату (региональные, государственные, национальные, мировые). Реализуются они в ходе сотрудничества нескольких стран, стран региона, или одной державы. Как объект, земные системы отсчета можно разложить на три составные части:

- системы координат,
- параметры Земли (датумы),
- отсчётную основу (координаты пунктов),

о чем было сказано в предыдущем подразделе.

Составные части системы, как в зарубежной, так и в русской литературе представляются разной терминологией, в связи с чем можно по-разному интерпретировать суть. Из-за этого важно разобраться в терминологии.

#### *Система координат.*

Такой термин начали принимать еще в довоенные годы, и названия совпадают с наименованием. Речь идет о системах СК-42 и СК-95. По сути, под этими названиями понимаются не координатные системы как таковые, а способы вычисления в них по разным параметрам Земли. Например, СК-42 построена на эллипсоиде Крассовского и опирается на пункты астрономо-геодезической сети (АГС), а СК-95 [6] опирается на пункты городской геодезической сети (ГГС), координаты которых вычисляются путем совместной обработки сетей космической геодезической сети (КГС), доплеровской геодезической сети (ДГС) и АГС. Обе системы референцные, эллипсоид Крассовского немного иначе повернут в пространстве, а значение координат пункта Пулково в них совпадают.

#### *Система отсчета, содержащая в названии составную часть.*

К таким относят разные системы, например, в России ПЗ-90. В странах Северной Америки – NAD-83 (NorthAmericanDatum, 1993), Австралии – GDA-94 (GeocentricDatumofAustralia, 1994), Новой Зеландии – NZGD-2000 (NewZealand-GeodeticDatum, 2000), и другие.

#### *Мировая геодезическая система.*

WorldGeodeticSystem, 1984 года введения (WGS-84). Созданная при заказе министерства обороны США. Предназначенная для работы спутниковой системы GPS. Из-за этого получила мировое признание и действует по всему миру, помогая всем пользователям ГНСС технологий в работе. Как и ПЗ-90 она принадлежит одному государству.

#### *Международная земная система отсчета*

- Internationalterrestrialreferencesystem(ITRS). Это основная система, введенная в 90-х годах, принятая международным астрономическим союзом, на которую ориентируются остальные земные системы отсчета.



Во всех четырех перечисленных вариантах названий в виду имеется одна и та же сущность. Расхождения лишь в терминах из-за сложностей перевода плюс разности интерпретаций ученых. В каждом пункте есть свои нюансы и тонкости, и важно, чтобы в каждом процессе работы они понимались.

На практике, на взгляд профессиональных пользователей, наиболее удобной и точной является четвертая система - ITRS. В названии отсутствуют слова «координатная система», что вызывает меньше путаницы для понимания сути. Дело в том, что «координатная система» и «система координат» легко отождествляемые понятия, и поэтому их легко перепутать. В названии присутствует слово «земная» что подчеркивает характер системы. И отсутствие слова «геодезическая» только подчеркивает универсальность предназначения системы отсчета. По образцу европейские ученые геодезисты создали свою подобную систему отчета European Terrestrial Reference System (ETRS).

### *1.1.3 ITRS и ее реализация*

International Terrestrial Reference System (ITRS) – стандартная общеземная координатная система, принятая международным астрономическим союзом (МАС) в 1991 году. Определенный набор договоренностей и основополагающих принципов построения единой земной системы координат.

Один из важных нюансов этой системы заключается в том, что координатные оси, как и в прочих координатных системах, определяются положением пунктов на земной поверхности, а соответственно изменение положения последних может привести к повороту или изменению параметров системы координат. А это в свою очередь может привести к трактовке об изменении параметров вращения планеты. Вследствие этого, на скорости пунктов накладывается условие, что кора Земли не должна иметь вращения относительно земной системы координат. Оси, выбранные таким способом, называются осями Тиссерана. Поэтому, для избегания таких моментов, постоянно вводят поправки в координаты непрерывно действующих станций, а название системы дополняют годом последней корректировки коорди-

нат. К примеру, на настоящее время действуют системы под названием ITRF2005 и ITRF2008.

Реализация общеизвестных систем координат — это довольно сложная задача, решаемая учёными различных стран. Например, США реализуют её для GPS посредством системы WGS-84, которую разработали геодезисты из министерства обороны США. А в России для системы ГЛОНАСС используют систему координат ПЗ-90. Но наиболее точная реализация общеземной системы координат является Международная земная отчетная основа ITRF (Internationalterrestrialreferenceframe), определённая научным международным сообществом, созданная на основе системы WGS-84 и постоянно обновляющаяся и регулирующая. Это происходит с помощью декартовых координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  ряда опорных пунктов на поверхности, а также скоростей по соответствующим координатным осям  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ , обусловленные тектоническими движениями плит. «...Слово "frame" можно перевести как "каркас", который образован в теле земли воображаемыми линиями и соединяющие физические точки на земле, имеющие точно определённые координаты в какой-то определённой системе (эллипсоидальной, картографической, декартовой) ...» из[1, стр. 42, 47].

Принципиальное отличие такой системы от других устарелых систем является то, что она динамическая. Другими словами, координаты пунктов на земной поверхности не имеют постоянно точных координат местоположения, они находятся в движении вместе с земной корой. И конечно, при высокоточных геодезических работах или геодезических работах на больших расстояниях нескольких тысяч километров, нельзя не учитывать движение наземных станций. (причины движения земной коры описаны в разделе 1.2). Так для обеспечения учета была создана система ITRF, в которой координаты станций уже включают в себя поправки за тектонические движения. Координаты станций сети ежегодно корректируются, чтобы учесть величину смещения относительно основных тектонических плит.

Но, как и любая система координат в геодезии, она не может существовать без прочной основы «frame», которая будет закреплять основные объекты систе-

мы, такие как координатные оси и начало их отсчета в центре масс. В геодезическую практику крепко вошло понятие «сеть референцных станций» ГНСС, предназначенных для точного позиционирования. Такая сеть улучшает производительность спутниковых измерений, повышает экономическую эффективность, обеспечивает возможность определения координат в единой системе. В настоящее время по всему миру наблюдается бурный прирост числа непрерывно действующих референц станций. Почти все развитые страны обеспечили свои территории сетями таких станций. При установке приемника на опорном геодезическом пункте с известными координатами ведется непрерывная трансляция поправок, необходимых для различных измерений, в том числе и роверных станций, вычисляющих свои координаты с помощью постоянно действующих.

Таким образом, временная эволюция ориентировки осей такова, что она не имеет остаточной вращательной скорости в плоскости горизонта по отношению к земной коре. Сама система не является инерциальной, ось Z направлена в среднее положение оси вращения планеты. Ось X лежит в плоскости опорного меридиана. Ось Y дополняет систему до правой. Так же система ITRS удовлетворяет следующим требованиям:

- начало системы находится в центре масс всей Земли, включая океаны и атмосферу;
- единицей длины является метр (SI), определенный в локальной земной системе в смысле релятивистской теории гравитации;
- ориентировка осей задается по данным Международного Бюро Времени на эпоху 1984.0;
- временная эволюция ориентировки такова, что она не имеет остаточной вращательной скорости в плоскости горизонта по отношению к земной коре.

Вектор положения пункта  $R(t)$  на поверхности твердой Земли в эпоху  $t$  в системе ITRS определяется следующим образом:

$$R(t) = R_0 + V_0(t - t_0) + \sum_i \Delta_i R(t), \quad (1)$$

где  $R_0$  - положение в эпоху  $t_0$ ;

$V_0$  - скорость в эпоху  $t_0$ , которая может достигать в горных районах порядка 10 см в год;

$\Delta_i R(t)$  - подлежащие учету поправки за высокочастотные эффекты, такие как лунно-солнечные приливы в твердой Земле, деформации из-за океанических приливных нагрузок, атмосферные нагрузки и другие факторы. Скорость  $V_0$  в ITRF может либо определяться из наблюдений, либо вычисляться в соответствии с моделью NNRNUVEL1А или другими моделями, (о моделях движения тектонических плит сказано в разделе 1.4.2) движения по тектонической плите  $V_{plate}$  по скоростям  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  вращения плиты в декартовых координатах в соответствии с принадлежностью пункта к той или иной тектонической плите:

$$V_{plate} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  – угловые скорости движения по координатам.

## 1.2 Движения тектонических плит, теория, причины

Теоретические основы движения литосферных плит были изложены американцами в 60-х годах прошлого столетия Р.Л. Паркером и Д.П. Мак-Кензи. На их взгляд внешняя оболочка Земли претерпевает сильнейшие деформации только вдоль сравнительно узких полос, называемые островными дугами хребтами, желобами и т. п., чем поделена вся поверхность на семь крупнейших плит и несколько малых. Каждая тектоническая плита принимает участие в формировании литосферы. Вследствие различных процессов, протекающих внутри Земли, перемещение плит имеет определенную компоненту и движет их автономно.

Существует два типа земной коры, это океаническая и материковая (континентальная). Они отличаются друг от друга строением, возрастом, структурой.

Континентальная кора значительно старше, 3-4 млрд лет. В то время как возраст океанической не превышает 200 млн лет. По толщине так же существенные отличия. Океаническая почти на порядок тоньше материковой, около 5-7 км, против 30-40 км, а в горных районах континентальная может достигать толщины до 75 км. Распределение массы оценивается пропорцией примерно 2:8 в пользу материковой. Но, при этом ее масса составляет порядка 0,4 процента массы Земли.

Смещение литосферных плит происходит за счет конвекции (перенос тепла от более горячего вещества к более холодному). Для того, чтобы в мантии могли проходили теплогравитационные течения нужна энергия, которая образуется из-за разности температур разных участков планеты. Температура возле ядра свыше 5500 °С, и падает ближе к границе с корой. Как известно, вещества с большой температурой расширяются, при этом уменьшается их плотность. Поэтому такие вещества поднимаются ближе к поверхности Земли, а менее теплые занимают их нижнее место. Такой процесс всплывания теплых легких масс и углубление плотных холодных существует довольно долго и происходит непрерывно, из-за чего получаются конвекционные потоки. Они формируют устойчивые конвекционные полости, те в свою очередь вступают в взаимодействия со смежными полостями, образуя горизонтальные конвекционные взаимодействия, которые влияют на кору Земли. Движение вещества в части полостей близлежащих к поверхности увлекает за собой океанические и материковые тектонические плиты с колоссальной силой, с помощью огромной вязкости мантийного вещества. Будь мантия полностью жидкой, вязкость при взаимодействии с корой стремилась бы к нулю, и через нее практически невозможным было бы прохождение сейсмических волн. При этом, земная кора увлекалась бы потоком мантийного вещества с ничтожно малой силой. Но, при высоком давлении и низких температурах на разделе земной коры и мантии вязкость велика. В диапазоне секунд вещество твердое, но в масштабе лет текучее, что и приводит к геодинамическим эффектам.

Сила этих эффектов определяет степень упругого горизонтального сжатия коры силой трения о нее. За счет передачи напряжения сжатия через неподвижную твердую кору от мест подъема к спуску мантийных конвекционных потоков, ве-

личина сжатия увеличивается. Над опускающимся потоком величина сжатий коры так велика, что ее плотность повышается, что в свою очередь приводит к неупругой деформации коры, то есть к землетрясению. В свою очередь над местом деформации могут образоваться горные массивы. После деформации происходит быстрое уменьшение напряжения, но после заново запускается цикл подготовки следующего землетрясения.

Движение плит – это следствие переноса тепла из центральной зоны наверх к коре. Тогда возникает вопрос относительно причины возникновения тепла в глубинах планеты. Этому существует не одна гипотеза. В начале прошлого столетия весьма популярной идеей была гипотеза радиоактивной природы возникновения тепла внутри Земли. Она подтверждалась наличием радиоактивных элементов в составе коры. Однако, позднее эту гипотезу раскритиковали, показав, что таких элементов в породах ничтожное количество, чтобы обеспечить выделение столь громадного количества тепла. Но, это все отнюдь не исключает достаточно высокого процента содержания этих радиоактивных веществ в центральных зонах Земли для выработки тепла.

Следующее предположение объясняет концентрацию тепла в центральной зоне планеты с помощью химической дифференциации. Такая модель, в которой первоначально Земля являлась смесью силикатного и металлических веществ. При формировании планеты эти вещества дифференцировались на отдельные оболочки. Плотные вещества ушли к центру, а силикаты наверх. При всем этом потенциальная энергия системы снижалась, преобразовавшись в тепловую.

Еще одним видом объяснения разогрева планеты является так называемая аккреция. Это выделение энергии при ударах космических тел о поверхность большего по размеру формирующегося объекта. Такая теория достаточно спорная, потому как тепло, выделившееся в процессе удара, скорее уйдет в космос обратно, а не в центр Земли.

Линии разграничения плит установлены различными геофизическими, геодезическими методами, при помощи определенных приборов, включая спутниковые

приемники, на морях морские эхолоты и наземное геодезическое оборудование. Существует несколько способов мониторинга смещений тектонических плит.

Наиболее актуальными за такими планетарными изменениями на сегодняшний день являются четыре метода наблюдений. Это радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ), методы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и лазерная локация от искусственных и природного спутников. Но и о привычных традиционных методах прошлого столетия забывать не стоит, потому как метод триангуляции считался основным до введения космических способов мониторинга Земной поверхности. О каждом методе речь пойдет в следующем разделе.

Сегодня геодезические методы в определении тектонических сдвигов продвинулись довольно хорошо, они позволяют подтверждать теоретические сведения ученых делать на их основаниях выводы о повсеместности и непрерывности геодинамических процессов. С помощью ГНСС технологий выявляются зоны столкновения плит, скорость подъема и горизонтального движения. С их помощью определено, что крупные тектонические плиты плывут быстрее в горизонтальном направлении, а их скорость может достигать сантиметров в год. Что Санкт-Петербург за тысячу лет превысил отметку по высоте больше чем на метр, а Скандинавский полуостров за 30 тысяч лет поднялся на 270 метров.

### 1.3 Методы определения смещений земной поверхности

#### *1.3.1 Триангуляционный метод*

До недавнего времени, до появления спутниковых навигационных систем, задача определения смещений земной поверхности стояла не менее остро. Ученые развитых стран разрабатывали способы контроля, мониторинга геодинамики Земли. Это представляло не только научный интерес, но и в плане безопасности являлось немаловажным фактором, особенно в районах повышенной вулканической активностью, а также на сейсмически не стабильных территориях.

Основным методом мониторинга были повторные триангуляции. Позднее его заменил, модернизировал метод трилатерации, отличающийся измерением длин всех сторон треугольника, а не одной.

Триангуляция – метод создания сети опорных геодезических пунктов, для проведения на них комплексов геодезических работ, располагающиеся в виде треугольников, с измеренными всеми углами, и базисной стороной (в трилатерации – все стороны, как и углы, измерены). Как правило, строят цепочки треугольников, длиной доходя до тысяч километров. Пункты закрепляются надежными долговременными центрами, чтобы точка, хранящая координаты, была намертво зафиксирована на долгий период времени.

Принципиальный смысл данного метода заключается в получении координат точек, удаленных от начального известного пункта, на большие расстояния, путем измерений геометрических составляющих треугольников. Посредством не сложных формул, с введением поправок вычисляются с достаточно приемлемой точностью координаты определяемых пунктов.

Довольно простой метод с точки зрения теории, но на практике требующий огромных человеческих трудозатрат, а значит и экономически выгодным являться не может. Поэтому на смену ему с космической скоростью летят спутниковые технологии.

### *1.3.2 Лазерная локация спутников*

Помимо прочих видов мониторинга смещений поверхности Земли существует не менее надежный способ радиолокации при помощи специально сконструированных искусственных спутников, вращающихся на определенной орбите. Их конструкция отличается от привычных ГНСС спутников тем, что на них установлено специальное оборудование, в виде уголковых отражателей, предназначенные для хорошего приема сигнала лазерного дальномера со специального телескопа, который для этих целей сконструирован на местах, потенциально подверженных движению.



В конце 60-х годов в социалистическом лагере Европы группой ученых из стран Советского союза, Германии, Польши, Венгрии была создана рабочая программа под названием «Лазерный спутниковый дальномер». В результате работ были созданы аппаратные блоки для комплектации нового лазерного телескопа с дальномером. Такие как лазерный импульсный генератор, аппаратура с точными атомными часами, различные измерители частот, оптическая система и механизм монтажа. Все это позволило к 1973 году установить и начать работы по мониторингу смещений коры Земли в обсерватории Ондржейове, Чехословакия [5].

Принцип определения смещений довольно прост. Во время посылки радиосигнала до спутника, с заданной длиной волны, частотой, фазой, определяется вектор положения спутника. При математических вычислениях на строго определенный момент времени, отслеживаемый точными атомными часами, с учетом орбиты спутника, рассчитывается теоретический вектор. Приводя измерения к единому моменту времени и вычисляется разность длин базовых векторов. В сейсмоактивных участках планеты, в промежутке времени около года удается зафиксировать отклонения, подтвержденные другими методами мониторинга. С учетом всех возможных отклонений и ошибок можно получить среднеквадратическую погрешность в пределах полутора сантиметров в год.

Но не только от искусственных спутников такой метод может применяться в теоретических представлениях некоторых ученых [9]. Имея собственный природный спутник – Луну, в теории, теми же средствами для измерений движений можно и от нее вести наблюдения и вычисления. Конечно, принципиальные отличия все же имеются. Например, нужно с достаточной точностью высчитать орбиты Луны, но это не самая сложная записка. Движение коры Луны также имеет свою составляющую отличную от нуля. Как определить это поправку, большой вопрос. Так же не дешевым будет установка отражателей на поверхности спутника. Все это делает метод лазерной локации Луны способом определения смещений объектов на Земле будущего, но в теории не самого грубого.

### 1.3.3 Радиointерферометрия со сверхдлинной базой

По литературе [2] в 1965 году советскими учеными Н. С. Кардашевым, Л. И. Матвеевко, Г. Б. Шоломитским были представлены основные принципы такой теории. - наземные радиотелескопы 1 и 2 расположены на расстояниях сотен, а то и тысячи километров. Широкополосный шумовой сигнал приходит от квазаров (квазизвездный внегалактический источник радиоизлучения с чрезвычайно широкополосным спектром) на телескопы с некоторой задержкой  $\tau$ , обусловленной разностью хода  $\Delta S$ . Вектор базы  $D$  (расстояние между радиотелескопами) имеет длину:

$$D = \Delta S / \cos(\beta), \quad (3)$$

где  $\beta$  – угол между направлением на квазар и горизонтальным проложением на телескоп 2, как показано на рисунке 2.

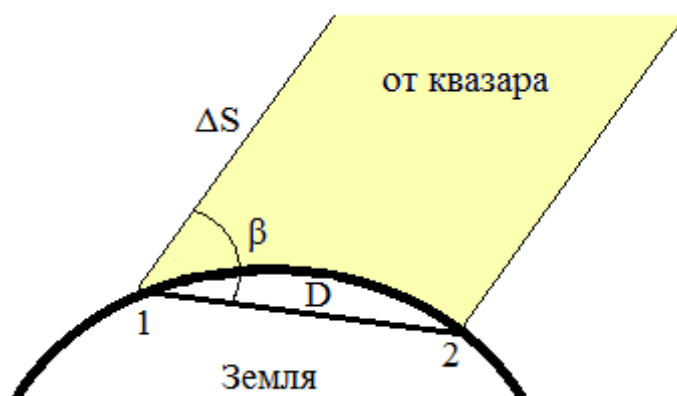


Рисунок 2 – иллюстрация метода РСДБ

А так как

$$\Delta S = V\tau, \quad (4)$$

где  $V$  – скорость радиоволн, то

$$\tau = (D/V)\cos\beta. \quad (5)$$

Таким образом получается, что задержка  $\tau$  содержит в себе информацию о длине базиса  $D$ . Она измеряется корреляционным методом, а записи сигналов  $S(t)$  и  $S(t+\tau)$  на телескопах 1 и 2 после определенных преобразований в корреляторе на выходе дают корреляционную функцию:

$$K_i(\tau) = \langle S(t) * S(t+\tau) \rangle, \quad (6)$$

имеющую максимум при  $\tau = 0$ . (Угловые скобки означают осреднение по времени). При сдвиге записей до появления максимума выходного сигнала не сложно определить задержку  $\tau$ , равную величине сдвига.

Квезары находятся от Земли на большом расстоянии порядка сотен миллионов световых лет, фактически в бесконечности, поэтому приходящие на радиотелескоп фронты являются идеально плоскими, и двигаются по абсолютно параллельным путям. Телескопы разнесены на сотни-тысячи километров друг от друга и наблюдают один и то же квазар. Следует отметить, что наблюдать один и тот же источник излучения на звездном небе с двух пунктов одновременно, можно лишь на максимальном расстоянии порядка 7 тысяч километров, из-за размера Земли.

Принимаемые сигналы абсолютно идентичны и приходят на телескопы с временной задержкой  $\tau$ , вызванной разностью расстояний от источника до приемника. Она измеряется корреляционным методом. На двух телескопах от квазаров записываются шумовые радиосигналы на магнитофоны с широкополосной структурой записи. Такие сигналы сводят вместе в центре обработки на устройстве, осуществляющем перемножение сигналов и выявлении среднего значения за длительный промежуток времени – корреляторе. Такое осредненное произведение и есть функция входных сигналов. Значение снимается с выхода коррелятора. После математических процедур получается корреляционная функция (6). Она имеет один резко выраженный максимум при  $\tau = 0$ . Исходя из этого, если сдвигать одну-

запись относительно другой при подаче сигналов на коррелятор до получения максимума входного сигнала, то не сложно определить временную задержку  $\tau$ . Будет равна величине временного сдвига. Между тем, измерения будут тем точнее, чем «острее» максимум функции. А он будет «острее» если спектр записываемых сигналов будет шире, т. е. меньше временная когерентность. Из-за такого фактора в данном методе и наблюдают шумовые широкополосные сигналы квазаров.

Исследования радиоизлучения сверх далеких источников сигнала позволяет получать базисные линии большой длины с очень достойной точностью порядка нескольких сантиметров на тысячи километров. В отличие от спутникового метода РСДБ считается точнее. Несомненно, для достижения таких точностей необходимо введение поправок за учет различных факторов, например, таких как: вращение полюсов, движение плит Земной коры, неравномерность положения орбиты планеты, различные геодинамические процессы и другие значимые явления.

#### *1.3.4 Глобальная навигационная спутниковая система ГНСС*

Одним и наиболее важных толчков к развитию GPS-измерений в Соединенных Штатах Америки было серьезное землетрясение в Калифорнии. Подземный удар по побережью Сан-Франциско унес жизни сотней людей и причинил ущерб на миллиарды долларов. Группа ученых, работающих на том месте до катастрофы, после взялись с большим рвением понять причины и последствия бедствия. Им удалось выяснить, что подземные толчки происходят вследствие движения тектонических плит, и изменения их вектора движения могут приводить к серьезным последствиям. Этот шаг был важным в истории развития сейсмонауки, и конечно, без применения спутниковых систем развиваться далее в этом направлении было бы практически невозможно.

Ученые геофизики, инженеры и техники ГНСС выделяют два вида сбора данных приемниками. Первые - это так называемые статические, кинематические и прочие виды съемок, где измеряемой величиной является вектор, соединяющий

два приемника. Выполняются с использованием базового и роверного приемников. (Речь идет об относительно точных измерениях, выше навигационной точности на 2-3 или более порядков, где требуется два прибора). В течении длительного промежутка времени записываются, анализируются данные, и затем, путем пост-обработки выполняются вычисления базовых линий. Таким способом можно создать картину о сейсмической обстановке достаточно большого района наблюдений.

Второй метод в отличие от измерений базовых линий с использованием двух приемников опирается на работу постоянно действующих станций, которая работает и принимает сигналы в режиме реального времени, как и спутники. Такие станции образуют сеть и их данные непрерывно обрабатываются, что позволяет наблюдать за геодинимическими явлениями. При длительной работе приемников с чистотой принятия сигналов порядка 5-30 секунд, получается довольно большой набор данных в сутки, что благоприятно сказывается на качестве наблюдений, ведь точность определения координат практически напрямую зависит от продолжительности съемки. Для выполнения измерений передвижными приемниками в поле можно в качестве базовой станции использовать постоянно действующую станцию, это упростит работу, и благоприятно скажется на точности выполненных измерений. В некоторых регионах создаются сети из постоянно действующих станций. Они служат не только для научных исследований, исследований тектонических возмущений, но и для проведения различных геодезических работ в строительстве, геодезическом мониторинге прецизионных сооружений, для неких сельскохозяйственных нужд, коммерческого использования и прочего.

Сеть постоянно действующих станций на планете с каждым годом разрастается все шире и плотнее. Повышается их эффективность, точность, появляются все новые области их использования, например, для кадастровых работ. В районах наивысшей сейсмоактивностью, таких как Калифорния или Япония, сеть станций в купе с сейсмодатчиками позволяет прогнозировать неблагоприятные геодинимические явления, что позволяет повысить безопасность техногенных объектов и людей.

У всех методов есть свои достоинства и недостатки. Что-то требует больших финансовых вложений, что-то введения огромного комплекса поправок, что-то наукоемких инноваций. Но, на основании уже выполненных исследований, проведенных самыми разными методами определения смещений земной коры, сделаны выводы о движении поверхности планеты. Движения тектонических плит могут иметь как колебательный характер, так и однонаправленный. Могут с течением времени менять положительный вектор смещения на отрицательный.

Наблюдения в режиме реального времени достаточно точный вид мониторинга смещений земной поверхности, он проще и более распространенный, чем радиоинтерферометрический способ РСБД. Точнее и менее трудозатратнее способов триангуляции и трилатерации. Довольно часто используется в практических целях.

Во второй главе дипломной работы пойдет речь более подробно о сборе данных, уравнивании, оценки точности результатов сбора данных постоянно действующих приемников ГНСС, в целях определения геодинимических эффектов на территории Новосибирской области.

## 1.4 Предварительный расчет величины геодинимических эффектов

### *1.4.1 Деформации спутниковых сетей вследствие процессов геодинимики*

При движении тектонических плит, изменяется земная поверхность, а твердо закрепленные на ней пункты таким образом изменяют свое метоположение. Связанные между собой измеренными длинами линий и углами, пункты образуют сеть, которая, естественно претерпевает вследствие таких процессов деформации. Деформации спутниковых геодезических сетей проявляются в виде изменения ориентации и масштаба.

В общем виде можно записать:

$$R_t = M * R_{t_0} , \quad (7)$$

где  $R_t, R_{t_0}$  – положения пункта в начальный момент времени  $t_0$  и текущий момент  $t$ , соответственно;

$M$  – матрица деформаций.

$$M = \begin{bmatrix} m_{xx} & m_{xy} & m_{xz} \\ m_{yx} & m_{yy} & m_{yz} \\ m_{zx} & m_{zy} & m_{zz} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Во многих случаях деформациями  $m_{yx}, m_{zx}, m_{xy}, m_{zy}, m_{xz}, m_{zz}$  пренебрегают, используя матрицу  $M^*$ .

$$M^* = \begin{bmatrix} m_{xx} & & \\ & m_{yy} & \\ & & m_{zz} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

где  $m_{xx} = m_{yy} = m_{zz} = (1 + \mu)$ ,

$\mu$  – параметр масштаба.

Разворот сети определяется матрицей поворота  $\Omega$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – развороты вокруг собственных осей.

В результате разворота осей получается:

$$R_t = \Omega * R_{t_0}. \quad (11)$$

В зависимости от времени различают два вида деформаций:

- периодические;
- глобальные.

Периодические деформации обусловлены сезонными изменениями. Глобальные вызваны тектоническими движениями литосферных плит.

Источники деформаций спутниковых геодезических сетей постоянно действующих станций можно разделить на «физические» и «математические».

Физические источники:

- глобальная геодинамика (движение тектонических плит);
- изменение положения фазовых центров антенн под действием различных факторов (локальная геодинамика, техногенные причины и др.).

Математические источники:

- ошибки, возникающие при обработке базовых линий и уравнивании СГС;
- ошибки, возникающие при трансформировании координат пунктов в референсные и местные системы координат.

Несомненно, при наличии деформаций, в такой точной науке как геодезия необходим строгий контроль. При обработке наблюдений длинных базовых линий (порядка 100 км и более) взаимное положение пунктов может изменяться на величину, значительно превышающую погрешность измерений. Учет изменений в положениях пунктов производится в системах отсчета с временной эволюцией ITRS, практическая реализация которых ITRF. Известно несколько реализаций ITRF, последняя из них ITRF – 2008 года. Временная эволюция учитывается также в системах WGS-84 (G1150) и некоторых других. В настоящее время отсчетные основы ITRF являются наиболее точными реализациями общеземной системы, о которых речь шла в предыдущем разделе.

#### *1.4.2 Модели учета скоростей пунктов спутниковой сети*

Существует несколько моделей для учета движения тектонических плит – это GEODVEL 2010, NUVEL-1A и GSRM v. 1.2. Размещенные в Интернет онлайн калькуляторы позволяют на основании реальных наблюдений станций ГНСС вы-



числить их прогнозные положения и таким образом сравнить заложенные в моделях скорости.

В литературе [4] описаны результаты сравнения для объединённой сети Новосибирской, Омской областей и Красноярского края. Анализ результатов показал, что разница между используемыми моделями составляет около 3-5 мм/год. Абсолютные величина скоростей пунктов на территории Сибирского федерального округа в общеземной системе координат составляет около 3 см/год. Конечно, они не могут быть постоянными и со временем точность прогноза будет ухудшаться. Таким образом, для обеспечения субсантиметрового уровня точности значений координат постоянно действующих базовых станций объединённой сети на протяжении нескольких лет требуется учёт движения литосферных плит.

Одним из продуктов исследований международной ГНСС службы (IGS) является периодически обновляемый каталог координат и скоростей станций сети. В нем были выбраны станции относительно которых определяется положение пункта NSKW. Фрагмент каталога приведен в таблица 1. Скорости станций, вычисленные на основании модели NUVEL-1A, могут быть использованы для уточнения положения станций на соответствующие эпохи наблюдений.

Таблица 1 - Фрагмент каталога IGSco станциями привязки на эпоху 2005

Пункты	X/V <sub>x</sub>	Y/V <sub>y</sub>	Z/V <sub>z</sub>
NRIL	64537,19100	2253782,86200	5946363,49900
	-0,02200	0,00310	0,00080
POL2	1239971,37000	4530790,09400	4302578,81600
	-0,02730	0,00530	0,00480
ARTU	1843956,71900	3016203,11200	5291261,73500
	-0,02380	0,00900	0,00420
IRKT	-968328,57800	3794426,52400	5018167,26500
	-0,02570	-0,00080	-0,00380

На основании данных каталога координат IGS, а также скоростей движения, были вычислены координаты пунктов на эпохи 2010-2016 гг. по следующей формуле:

$$X_i = X_{2005} + (i - 2005) * V_x, \quad (12)$$

$$Y_i = Y_{2005} + (i - 2005) * V_y, \quad (13)$$

$$Z_i = Z_{2005} + (i - 2005) * V_z, \quad (14)$$

где  $X_i, Y_i, Z_i$  – координаты на эпоху измерений,

$i$  – эпоха измерений (день, месяц, год), выраженная в долях года;

$V_x, V_y, V_z$  – скорость движения пунктов по координатам  $X, Y, Z$ .

Вычисленные координаты на эпохи 2010-2016 представлены в приложении А. Они будут использованы в качестве значений базовых станций при относительных определениях координат станции NSKW.

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ СМЕЩЕНИЙ СТАНЦИИ NSKW

### 2.1 Общие сведения

Проведение практической части дипломной работы заключалось в определении движения постоянно действующей станции NSKW, находящейся на крыше одного из корпусов Сибирского Государственного Университета Геосистем и Технологий. Ее движение обуславливается движением сибирской литосферной плиты (о чем сказано в разделе 1.2). Для определения точнейших сдвигов ГНСС приемника в определённой глобальной системе координат использованы данные других ГНСС приёмников, находящиеся в порядке полутора тысячи километров от станции NSKW. (Рисунок 1). Таких станций четыре: это ARTU, находящаяся в Свердловской области, NRIL и IRKJ – в городах Норильск и Иркутск, и POL2 – станция в столице Киргизской Республики, городе Бишкек. Данные всех приёмников записываются в определенном формате и передаются на сервер, где хранятся долгое время и могут быть использованы любым пользователем Интернета, имеющим возможность доступа к программам продуктам, которые могут распознать такого типа файлы.

С 2010 года, как начал работу приёмник на крыше нашего университета, координаты его местоположения записывались в каталог, как и координаты любых GPS станций на территории РФ, включая эти наши четыре станции за пределами Новосибирской области. Принимая их за опорные, а пункт NSKW за рабочий, с помощью программного продукта TrimbleBusinessCentre (TBC), вычислены координаты на все выбранные эпохи.

Файлы «сырых» измерений опорных станций, доступны на сайте [igs.org](http://igs.org) в формате RINEX. При выполнении обработки станций, находящихся на расстояниях, превышающих 30 км следует использовать дополнительную информацию в виде файлов точных эфемерид.

В литературе эфемеридами называют таблицу, в которой представлен список координат спутника или иного небесного объекта, на указанный период времени в

определенной системе координат. Для геодезических работ с применением ГНСС необходимо знать точное положение спутника на определенный момент времени, иначе попросту будет невозможным определение координат приемника. Эфемериды спутников могут быть двух форм: бортовые и точные. Первые транслируются со спутников и содержат в себе Кеплеровы элементы орбиты на одно опорное время и параметры, корректирующие ее с предсказанной скоростью, а также точное время атомных часов. Точность достигает 2-3 м и порядка 7 нс по времени. Точные эфемериды имеют точность менее 5 см в положении и менее 1 нс по времени. Определяются путем математической пост-обработки данных, при известных координатах положения станций обработка направляется на вычисление координат небесного тела. Такие эфемериды вычисляются по отношению к системе ITRF и включают поправки часов. Обычно обработка данных длится порядка двух недель после наблюдений, и затем, становится доступной на сайте МГС по адресу <http://igscb.jpl.nasa.gov/>.

Известно, что ошибка измеренной базовой линии зависит от высоты орбиты, а порядок точности ее остается равным точности эфемерид:

$$m_D = \frac{D}{H_{sv}} \cdot m_e, \quad (15)$$

где  $D$  – длина базовой линии, в данном случае составляет 1 500 км;

$H_{sv}$  – высота спутника, для ГНСС в среднем 20 000 км;

$m_e$  – ошибка эфемерид.

Таким образом при использовании бортовых эфемерид ( $m_e = 1$  м), точность вычисления базовой линии равна 0,075 м.

Использование точных эфемерид точность ( $m_e = 0,05$  м) дает ошибку вычисления базовой линии 0,0038 м.

Поэтому использование точных эфемерид при обработки длинных базовых линиях остается самым надежным, тем более что они находятся в открытом доступе и в любом специализированном программном обеспечении одной кнопкой

скачиваются для постобработки информации. Это возможно сделать напрямую в программе ТВС при наличии доступа к Интернету.

На рисунке 3 представлена блок-схема вычисления базовой линии с учетом всей дополнительной информации.

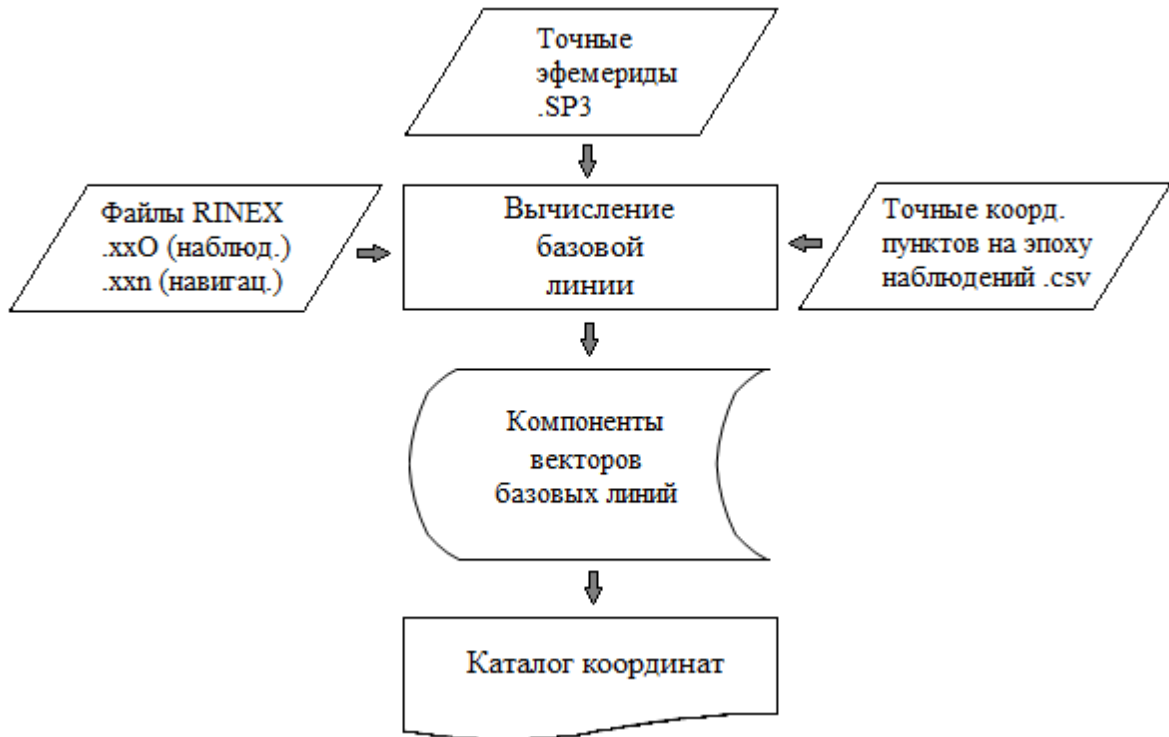


Рисунок 3– Блок-схема вычисления базовой линии

Файлы RINEX – файлы измерений и навигационного сообщения постоянно действующих станций, полученные с сайта международной ГНСС службы. (Подробнее в следующем разделе).

Точные координаты пунктов – это координаты, высчитанные с помощью моделей, теоретически предсказанные с высокой точностью. (О них речь шла в разделе 1.4).

Точные эфемериды – данные, которые можно загрузить программным продуктом ТВС, для получения более точных результатов вычисления.

Таким образом, для выполнения вычислений были получены с выше указанных ресурсов следующие исходные «сырые» данные:

- файлы суточных «сырых» измерений в формате RINEX с сайта международной ГНСС службы и сайта сети ПДБС ГНСС НСО;
- файлы с координатами пунктов;
- файлы точных эфемерид.

На следующие даты:

- 1 – 10 ноября 2010 года;
- 1 – 10 января 2011 года;
- 1 – 10 января 2016 года;
- 1 – 10 апреля 2016 года.

## 2.2 Описание источников исходных данных

### 2.2.1 Данные сети IGS

Одними принятыми радиосигналами со спутников наглядную картину ГНСС обстановки составить без обработки и интерпретации полученных измерений нельзя. Поэтому, с созданием космического сегмента спутниковых технологий, появились множество наземных задач, которые необходимо решать для корректной удобной работы в этой сфере, такие как: обеспечение постоянного мониторинга, контроля, представление данных пользователям, сбор, обработка, хранение, распространение, архивация, уточнение данных, эфемерид, различных поправок, и многого другого.

Для этого дела была создана мировая ГНСС служба IGS (International GNSS service) ответственная за решение таких вопросов. Она вносит огромный вклад в изучение Земли и развитие ее координатных систем отсчета. Свою деятельность начала в 1994 году, в США, а в настоящее время ее функционирование поддерживают свыше 200 серьезных организаций, расположенных по всему земному шару, и практически все на добровольной основе. В службу IGS входят не-

сколько институтов, это станции непрерывного слежения, центры сбора и хранения информации и центры анализа и уточнения данных. На станциях слежения приемниками GPS или ГЛОНАСС собирают «сырую» информацию и передают в следующие институты для обработки и перевода в обменный формат RINEX, которыми уже могут пользоваться в открытом доступе все пользователи. Операционные центры есть почти на каждом континенте, сейчас их 17. Имеется 6 региональных центров IGS и 4 глобальных - два в США, во Франции и Корее. Десяток центров анализа данных, два центра по развитию геодезических основ ITRF в Великобритании и США, и мелкие другие.

Служба IGStack же контролирует параметры вращения Земли, координаты и скорости смещения непрерывно действующих станций IGS, поправки в шкалы времени спутниковых часов на станциях и спутниках, оценки задержек сигналов в атмосфере, и другие параметры. Данные IGS хранятся на интернет ресурсе <http://igs.org> и используются множеством компаний по всему миру.



Рисунок 2 – Сеть станций международной ГНСС службы, участвующих в кампании ITRF-2008

В практической части этой дипломной работы использованы данные службы IGS, взятые с этого интернет сервера, подробнее об этом далее.

Сам сайт международной ГНСС службы довольно прост по строению и не вызывает трудностей в обращении. На него выкладывают все информацию, которая может пригодиться пользователям при выполнении и обработки спутниковых измерений. На страницах сайта можно найти информацию следующего вида.

– Эфемериды спутников. Альманах и быстрые эфемериды доступны сразу на момент наблюдений, в то время как точные высчитываются не сразу. Обработка вычислений точных и ультра-точных эфемерид спутников выполняется в промежутке от 3 часов до 41. По данным сайта IGS, финальные становятся доступными через 12-18 дней и обновляются по четвергам. Соответственно их точность варьируется от 100 до 2.5 см. Точное время атомных часов спутников и приемников так же находится в свободном доступе этого раздела.

– Элементы вращения Земли. Полярное движение, скорость движения полярного полюса, длина суток. Так же, как эфемериды, элементы вращения Земли определяются, высчитываются и отображаются в разделе «Products». Существует четыре вида таких элементов, это: предсказанные, наблюдаемые, быстрые и точные. Предсказанные - это вычисленные с помощью статистических методов математические сведения о параметрах вращения Земли. Наблюдаемые – это вычисленные элементы по результатам наблюдений; быстрые и точные – это параметры, вычисленные с учетом всевозможных факторов и поправок, влияющих на точность определения элементов вращения планеты. Соответственно, чем точнее параметры, тем дольше они находятся в обработке, реже обновляются и доступны через большие промежутки времени.

– Метеорологические параметры. Это данные о задержках распространения радиосигнала от спутника до приемника. Тропосферные и ионосферные задержки и их составляющие. Точность и обновление параметров построены по тем же принципам, что эфемериды и параметры вращения.



Следует отметить недостаток для русскоязычных пользователей спутниковых систем. Весь сайт полностью англоязычен и для его комфортного изучения необходимы азы английского языка, или переводчик под рукой.

На каждую эпоху за последние несколько лет там находятся каталог заархивированных навигационных файлов, которые любой пользователь ГНСС в праве получить. Были скачаны навигационные файлы четырех постоянно действующих ГНСС станций: ARTU, NRIL, IRKJ и POL2 на эпохи ноября 2010 года, января 2011, января 2016 и апреля 2016 года, для расчетов от них точных координат постоянно действующей базовой станции NSKW на те же эпохи.

### *2.2.2 Данные сети ПДБС НИ ГНСС НСО*

Измерения пункта NSKW были получены с сайта <http://rtk.nso.ru>, где хранятся заархивированные файлы сети постоянно действующих базовых станций наземной инфраструктуры ГНСС на территории Новосибирской области (ПДБС НИ ГНСС НСО).

В Новосибирской области расположена сеть постоянно действующих базовых ГНСС станций (ПДБС ГНСС НСО). Создатели портала <http://rtk.nso.ru> - организация с названием Государственное бюджетное учреждение «Центр навигационных и геоинформационных технологий Новосибирской области». Они предоставляют доступ к RealTimeKinematic (RTK) поправкам и файлам наблюдений RINEX постоянно действующих базовых станций НСО. По аналогии с сайтом IGS, здесь имеется схема расположения базовых станций, представленная на рисунке 3.

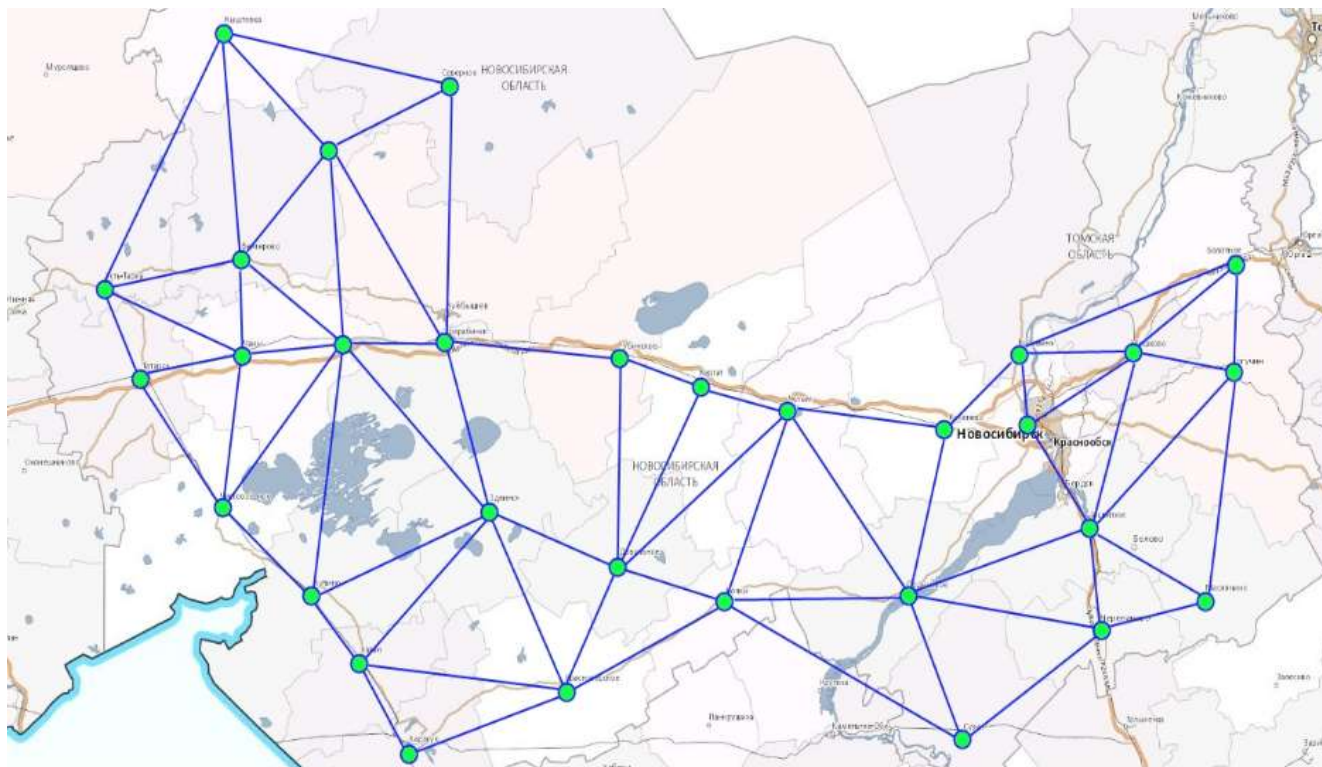


Рисунок 3 – схема ПДСБ на территории НСО

Файлы наблюдений находятся так же в открытом доступе. Для проводимого эксперимента были скачены данные ПДСБ NSKW следующим образом: кликнув по вкладке «доступ к сети» главной страницы сайта, открылось окно, на котором выведен сгенерированный логин и пароль, который следует ввести в соответствующие поля, кликнув ссылку [скачать данные RINEX] главной страницы сайта. После проведенный манипуляций открылась страница, на которой кликнув [SimpleRINEXdownload] можно выбрать эпоху, на которую нужны координаты любого пункта ПДСБ НСО, и скачать их.

## 2.3 Выполнение вычислений

### 2.3.1 Импорт данных и их контроль

Вычисление изменения положения исходного пункта сети ПДСБ НСО Новосибирск-Западный (NSKW), вызванного движением литосферных плит в разные эпохи, выполнено с применением программного комплекса Trimble Business

Center, технология обработки в котором состоит из следующих операций: обработка базовых линий, контроль согласованности базовых линий и уравнивание. Обо всем далее по порядку.

Одним из основных этапов вычислений является обработка базовых линий. Но, перед обработкой базовых линий необходимо выполнить следующие операции:

- создание и настройки проекта;
- импорт данных в проект;
- контроль импорта данных.

Для того чтобы создать новый проект необходимо на панели задач выбрать кнопку [Создать новый проект]. Поскольку первоначальная обработка измерений выполняется с настройками по умолчанию и без изменения системы координат-настройки проекта не проводятся.

Для того чтобы загрузить исходные данные на панели задач выбирается команда [Импорт] и указывается путь к данным, которые необходимо загрузить. Для завершения загрузки нажимается кнопка [Импорт].

Важным нюансом программы ТВС является то, что при импорте выделенных файлов одним разом, программа принимает их за один сеанс наблюдений, таким образом, если загрузить одним разом десять суточных файлов, ТВС распознает их как один десятисуточный файл; (пусть и с перерывами в наблюдениях, если не достает какого-то файла). Во избежание такой ситуаций, было принято решение загружать разом не все данные одного пункта, а все данные пунктов на одну дату.

При импорте скаченных файлов в программу для их обработки, программа распознает все данные файла. Там защиты множества параметров. Это координаты антенны приемника, высота антенны над пунктом, тип антенны, ее модель, характерная точка (до нее измеряется высота), тип, модель, номер приемника, и многие другие. Но не всегда программе удастся корректно распознать все эти параметры. Например, в ходе эксперимента возникли сложности по распознаванию типа и модели используемой антенны на пункте ARTU. Программный продукт, используемый для обработки спутниковых измерений, не понял какая антенна

была использована на этой станции. Чтобы решить эту проблему пришлось открывать файл в текстовом редакторе и вручную, среди многих строк искать строку «typeant.», там был указан тип и модель антенны, которые были выставлены в программе вручную.

После загрузке импортируемых файлов, открывается окно «Проверка сырых данных приемника», где и необходимо выполнить контроль корректности сведений в файлах: в закладке [Точка] - показывается начало, конец и продолжительность измерений. В закладке [Антенна] - производитель и тип антенны (где и возникают чаще всего трудности распознавания программой данных импортируемых файлов); так же метод измерений высоты антенны, высота и ее серийный номер. В закладке [Приемник] - время начала и конца сеанса съемки, тип, модель, серийный номер приемника и режим съемки. На рисунке 6 приведено графическое изображение окна проверки сырых данных приемника, в котором, если нужно, ведется корректировка загружаемых файлов.

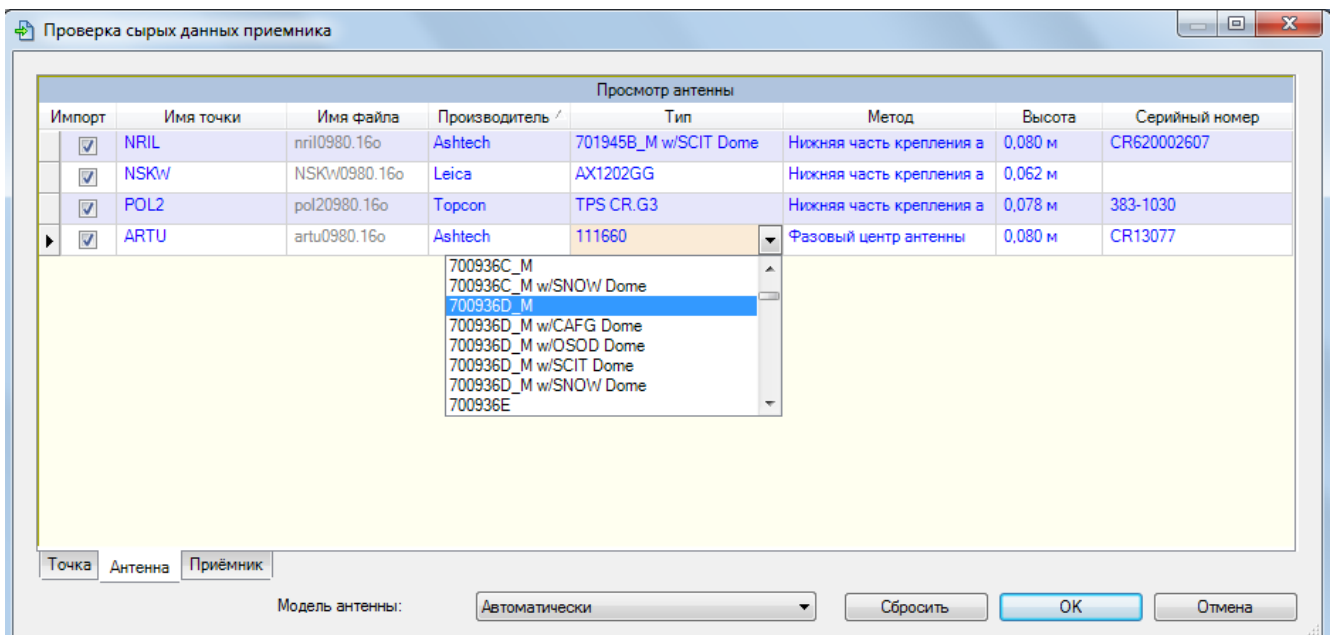


Рисунок 6 – проверка вводимых данных

В результате импорта данных программа формирует потенциальные вектора базовых линий, определяя все возможные синхронные наблюдения от всех возможных станций. Поскольку при обработке будут использованы точные коорди-

наты станций IGS, необходимости в наличии замкнутых полигонов нет. Поэтому были отключены линии между станциями IGS. Это делается простым образом, выделив линию или линии правой кнопкой мыши, нажимается строка «исключить базовую линию». Получившаяся схема приведена в приложении Б. Она иллюстрирует всю сеть спутниковых измерений.

### *2.3.2 Обработка базовых линий, технология, контроль*

Технология обработки базовых линий включает в себе довольно много компонентов, влияющих в разной степени на точность определения координат ее начала и конца. Так как в данной работе речь идет о миллиметровой точности спутниковых измерений, для вычисления отклонений станции из-за тектонических смещений, соответственно точность обработки линий должна быть близка к максимальной. Чтобы этого добиться необходимо в опорные пункты ввести точные координаты, вычисленные по моделям движения литосферных плит. Они вводятся, нажав правой кнопкой мыши на [Точки], выбрав строку «добавить координаты». Далее, указав тип координат «глобальные», чтобы программа учитывала поправки за эллипсоид, и поставить координаты «опорные», вводятся координат станций IGS, приведенных в приложении А, представленные в виде геодезических координат.

Поэтому, после импорта файлов, необходимо загрузить точные эфемериды. Нажав иконку [Скачать данные с интернета], программа предложит список данных, возможных для скачивания. Выбрав [Finalorbits], ТВС попросит указать период скачивания точных эфемерид. Указав дату, кликнув на «автоматическое» скачивание начнется загрузка данных. После этого, они появятся в разделе [Импортированные файлы] и программа будет учитывать их при обработке в дальнейшем.

Первое вычисление базовых линий выполняется при следующих настройках проекта, которые можно вызвать, кликнув на вкладку [Проект] и выбрав стро-

ку[Настройки проекта]. Особое внимание следует уделить двум настройкам: это маска по высоте и используемые эфемериды.

Маска по высоте, она же маска возвышения, это угол, отсчитываемый от горизонта по направлению к зениту, в котором сигнал, от пролетающих в этом диапазоне спутников не принимается в расчет. По умолчанию она стоит 10 градусов, но в ходе расчетов оптимальными являются 15-20 градусов, так как при малом угле маски возвышения расстояние, которое проходит радиосигнал сквозь ионосферу и тропосферу велико, из-за чего могут возникнуть ошибки или ухудшение точности результатов.

Так как в программе по умолчанию заложенные параметры не включают в обработку точные эфемериды, а в работе они были загружены и учтены, то следует и отметить в настройках использование точных эфемерид.

После загрузки необходимого количества данных для вычисления координат базовых линий, с достаточной точностью и определения настроек их вычисления, наступает момент непосредственной обработки.

На панели задач выбирается вкладка [Съемка], затем [Обработка базовых линий]. В обработку включаются лишь те линии, которые имеют статус включенных, то есть не будучи исключенными. В результате получается сводная таблица обработанных БЛ, которую можно сохранить.

После первичной обработки, программа анализирует вычисленные данные, и определяет положения векторов. В настройках можно изменить, а по умолчанию стоит показатель среднеквадратической ошибки (СКО) равный 20 мм. То есть, координаты конца базовой линии должны вязаться между собой в районе разброса ошибки на данную величину. Если такое не происходит, и ошибка превосходит допуск, то программа отображает такую линию или точку красным флажком, что означает то, что измерения недостаточно точные. Пример не вяжущихся в пределах СКО линий и панель флажков приведены на рисунке 7.

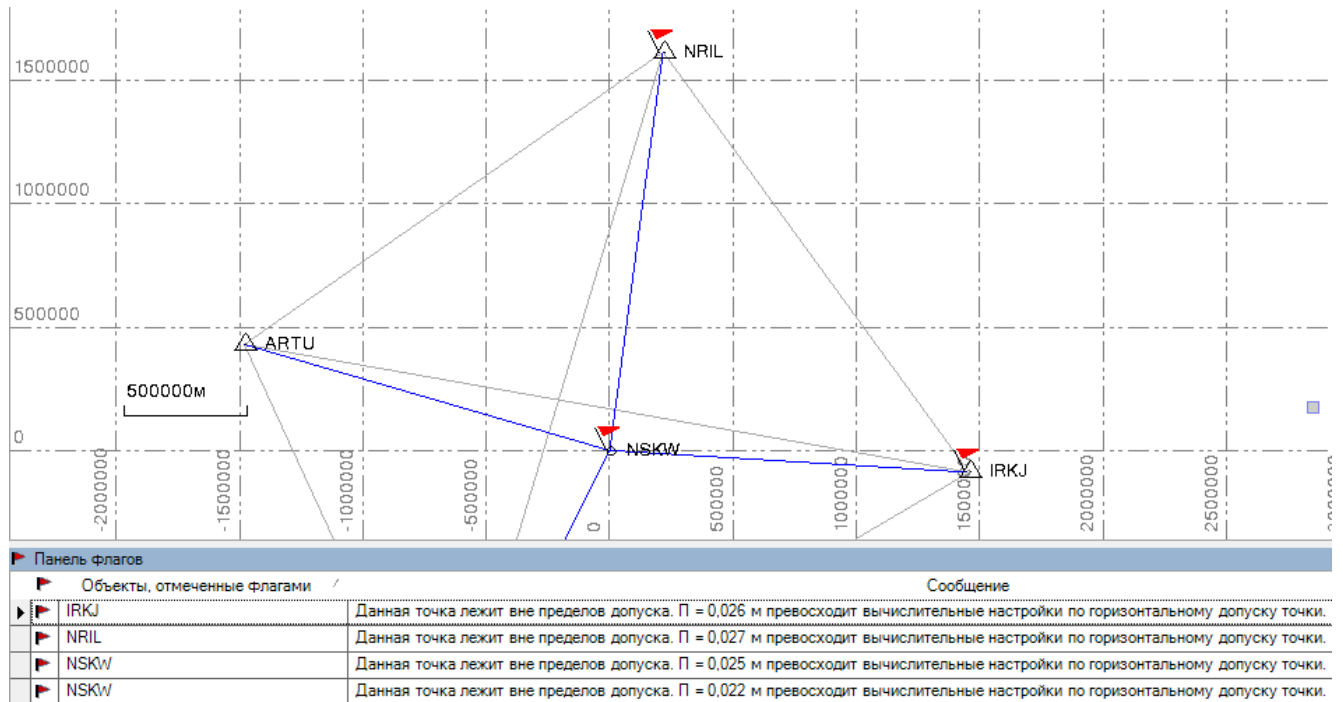


Рисунок 7 – Панель флажков и лежащие вне допусков точки

Ошибки такого рода, как правило, встречаются не редко, после первой обработки БЛ. Скорее всего они связаны с не лучшего качества измерениями на станции, так как возможны радио помехи, непредвиденные математической моделью изменения в атмосфере и прочие, снижающие точность факторы. Для их уменьшения или исключения необходим контроль качества вычисленных БЛ. Он производится по нескольким критериям:

- ошибки в плане и по высоте, СКО;
- отклонение от средней длины, вычисленной линий;
- величина двойных разностей базового и текущего спутника.

Эти параметры легко контролируются, вызвав соответствующий отчет. На вкладке [Отчеты], вызвав команду [отчет об обработке базовых линий] ТВС формирует отчет, в котором имеется возможность контроля СКО и величина двойных разностей базового и текущего спутника. В команде [отчет о происхождении точки] формируется отчет, в котором указаны длины обработанных линий и их средняя длина. Наиболее отличная по длине от средней длины линий будет вызывать пристальное внимание, анализироваться детально и исправляться.

Для этого щелкнув правой кнопкой мыши на линию, в открывшемся списке выбрать [редактор сессии], в котором можно исключить участки измерений, которые выбиваются из общего нормального процесса съемки. После данной операции, переобрабатываются те БЛ, измерения которых исправлялись. Скорее всего флажки с них исчезнут, но могут переместиться на другие линии или точки. В продолжении, следует тем же методом определить низкокачественные линии, и так же в редакторе сессии удалить некачественные промежутки съемки. Выполняя такой порядок действий, через несколько этапов все ошибки и флажки устраняются, и обработка БЛ становится гораздо точнее.

Если на некоторых линиях или точках, после таких манипуляций все же остаются лежащие вне допусков ошибки, имеет смысл переобработать эти линии с другим значение маски по высоте. Отчет по обработке базовых линий приведен в приложении В. В нем содержатся данные об обработке измерений всех четырех эпох измерений. Вычисленные длины линий осреднены и по их отклонениям выбраны максимальные значения, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальные отклонения от среднего значения длины линий на различные эпохи

Дата	Линии	Расстояния (м)	Высоты (м)
окт.2010	NSKW-NRIL	0,004	0,035
	NSKW-IRKJ	0,005	0,038
	NSKW-POL2	0,006	0,015
	NSKW-ARTU	0,005	0,012
январь.2011	NSKW-ARTU	0,009	0,025
	NSKW-NRIL	0,006	0,022
	NSKW-POL2	0,006	0,010
	NSKW-IRKJ	0,002	0,017
январь.2016	NSKW-ARTU	0,005	0,012
	NSKW-POL2	0,009	0,035
	NSKW-NRIL	0,009	0,030
	NSKW-IRKJ	0,008	0,019
апр.2016	NSKW-ARTU	0,002	0,016
	NSKW-POL2	0,005	0,026
	NSKW-NRIL	0,005	0,034
	NSKW-IRKJ	0,006	0,019



Отклонения от средней длины линии в плане не превышают 9 мм, по высоте 38 мм.

### *2.3.3 Технология и настройки уравнивания*

После обработки и корректного вычисления БЛ, до точнейшего определения координат пунктов и длин линий необходимо выполнить уравнивание.

Первое уравнивание выполняется при следующих настройках проекта:

– ошибка, заложенная в инструкции приборов. По умолчанию она стоит 5 мм +1 мм на километр длины БЛ в плане, и по высоте 10 мм + 1 мм на километр длины БЛ. Ее изменять неправильно, так как она определена заводом, для каждого прибора конкретно;

– ошибка центрирования и определения высоты антенны. В основном, на пунктах с постоянно действующими приемниками используют устройства принудительного центрирования. Они обеспечивают точность центрирования около 0,1 мм;

После настроек уравнивания на панели задач выбирается вкладка [Съемка], затем [Уравнивание сети]. В открывшемся окошке фиксируются опорные станции, поставив галочку на высотной или плановой составляющей пункта, координаты которого необходимо зафиксировать, как это показано на рисунке 8. От него, или в данном случае от четырех пунктов ARTU, NRIL, IRK и POL2, закрепленными как опорные, уравнивались координаты пункта NSKW.

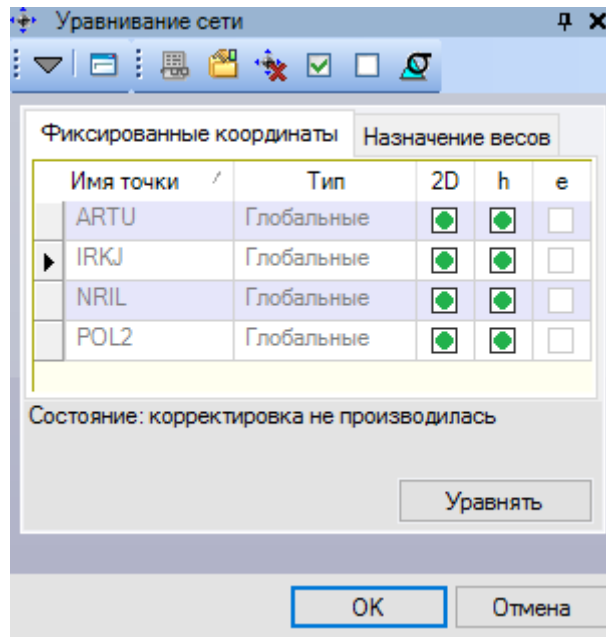


Рисунок 8 – Фиксирование компонентов опорных точек для уравнивания

В результате уравнивания получаются координаты определяемого пункта, в данном случае координаты пункта NSKW. Успешным будет считаться то уравнивание, где опорный коэффициент сети составляет около 1, а условие  $\chi^2$ -тест = 95% пройден. Опорным коэффициентом сети называют коэффициент, на котором основывается контроль распределения погрешностей– это сумма квадратов  $i$ -независимых стандартных нормальных случайных величин.

В случае, если спутниковые измерения, полученные в результате обработки не проходят установленные критерии уравнивания, следует выполнить повторную обработку базовых линий или увеличить значения допусков в настройках уравнивания.

Когда уравнивания выполнено успешно программа формирует отчет об уравнивании и выдаёт эллипс ошибок станции, представленный на рисунке 9.

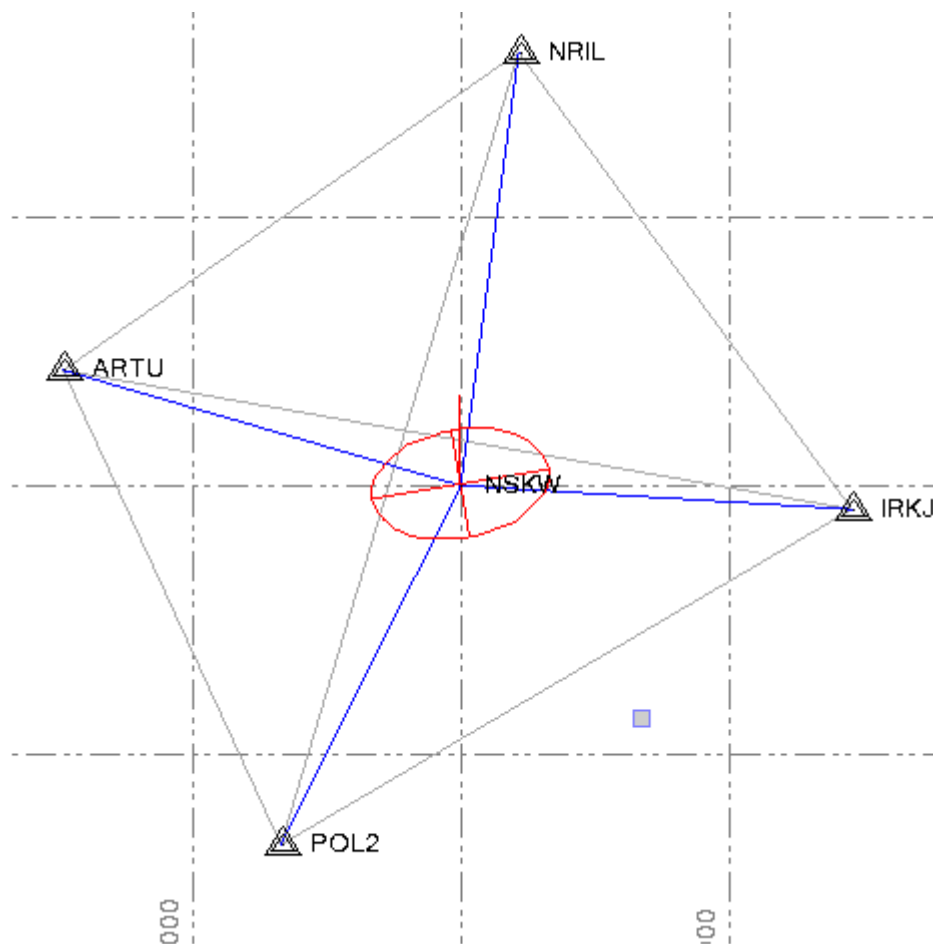


Рисунок 9 – Эллипс ошибок

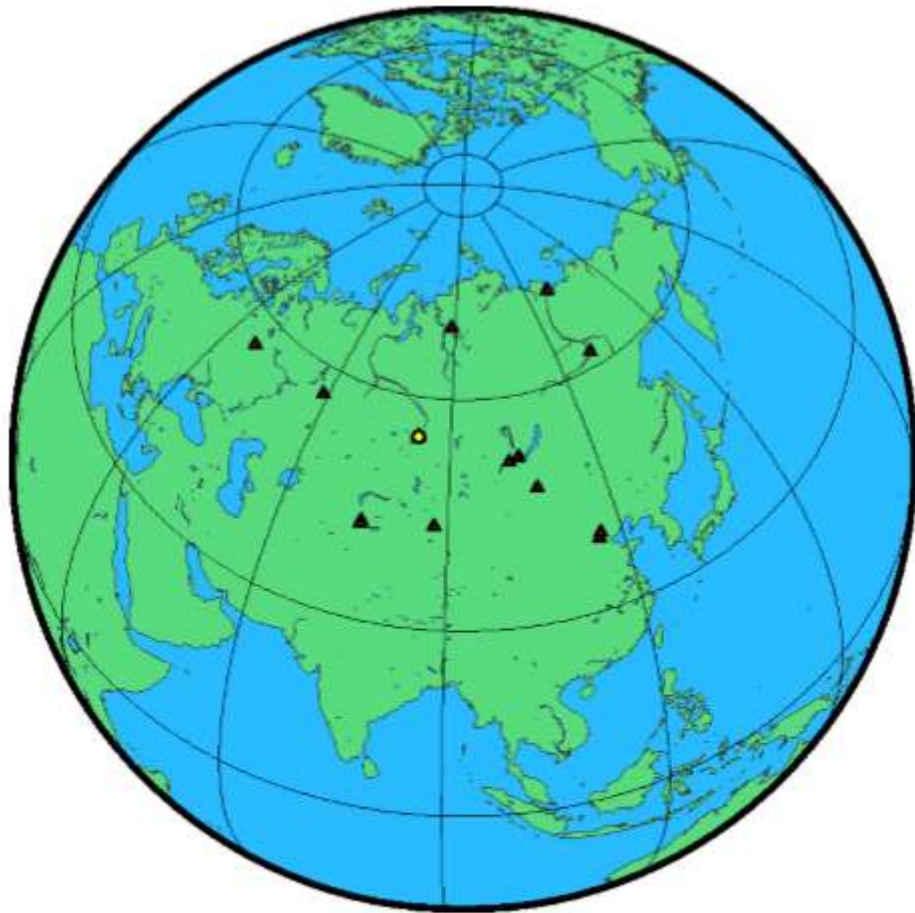
Точные результаты уравнивания в таблицах отображаются в отчете об уравнивании спутниковой сети, который можно вызвать, кликнув [Отчеты], затем [Отчет об уравнивании], в котором содержатся данные об уравненных сетях всех четырех эпох наблюдений.

Таким образом благодаря уравниванию получилось отследить и исключить грубые и систематические ошибки, а оставшиеся малые распределить между пунктами.

## 2.4 Анализ результатов

Для анализа выполненной в ТВСобработки, было принято решение вычислить координаты пункта NSKW через сервис онлайн обработки измерений. Для вычислений использован ресурс австралийского технического университета

(AUSPOS), доступный по адресу <http://www.ga.gov.au/>. Отправив RINEX файл на ту же эпоху, рассчитываемую в TBC, обратной связью на электронный адрес были высланы каталоги координат с необходимой информацией. На рисунке 10 представлена схема, высланная сайтом AUSPOS, со схемой пунктов, от которых велся расчет координат станции NSKW.



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2016/04/10 00:00:00	NSKW	ARTU BADG BJFS BJNM CHUM IRKJ MDVJ NOVW NRIL POL2 TIXI ULAB URUM YAKT	IGS final

Рисунок 10 – Фрагмент отчета, присланного сайтом AUSPOS

Следует отметить, что данные станций, используемых для расчета программой TBC–ARTU, NRIL, IRKJ, POL2 так же включенные в расчет онлайн сервисом для вычисления координат NSKW.

В результате сравнения вычисленных в ходе обработки в ТВСбазовых линий и последующего уравнивания координат станции NSKWc аналогичными координатами, полученными в онлайн сервисе AUSPOSвыявлены различия, приведенные в приложении Г.

На эпоху января 2016 года наблюдаются большие расхождения между онлайн сервисом и расчетом в программе. Расхождения достигают 6 см, в то время как на остальные эпохи расхождения колеблются в диапазоне 1-11 мм. Такую ошибку можно объяснить тем фактом, что на январь 2016 года, на сайте ПДБС НСО были выложены не все файлы, необходимые для проведения точной обработки. Они были представлены не на каждый день, поэтому, при обработке в ТВС было построено мало базовых линий, соответственно, статистических данных не хватило, для точного определения компонентов базовой линии. Плюс ко всему, на эту эпоху были получены наихудшие значения точности в плане и по высоте, о чем свидетельствует таблица В.3.

Таким образом, из анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

- отклонение от средней длины вычисленных векторов в различные эпохи по данным таблицы 3в плане не превышают 9 мм, по высоте 38 мм;

- смещение станции NSKW, вычисленные с помощью ТВС между эпохами 2010-2016, составляет по координате X–14,6 см, по Y – 1,9 см, по Z – 0,1см. При СКО определения координат, взятой из отчета об уравнивании, по координате X – 0,002 м, по Y – 0,003 м, по Z – 0,004 м;

- смещение станции NSKW, вычисленные через онлайн сервис AUSPOSмежду эпохами 2010-2016, составляет по координате X–14,2 см, по Y – 1,9 см, по Z – 0,2 см. Ошибки определения координат содержатся в отчетах AUSPOSи представлены не в плановой системе координат, а в сферической. Составляют по долготе – 0,004 м, по широте – 0,003 м, по высоте – 0,010м.

Таким образом, на основании полученных координат, можно сделать выводы о скорости движения станции NSKW - по координате Xравняется 2,43 см/год, по Y – 0,31 см/год и по Z – 0,03 см/год.

### 3 АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТА

В соответствии с инструкцией по составлению проектно-сметной документации, геодезические картографические инструкции, нормы и правила (КГИНП), разработанной отделом экономики Центрального ордена “Знак Почета” научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф. Н. Красовского (ЦНИИГАиК), все виды геодезических работ должны быть выполнены согласно проектно-сметной документации.

Спутниковые измерения и их обработка не исключение. При проведении работ, между заказчиком и подрядчиком заключается договор, в котором прописываются все объемы работ, права и обязанности сторон и соразмерная плата за выполнение заказа. При расчете оплаты труда, бухгалтерами компании составляется смета на выполнение оговоренных работ. После ее утверждения, подрядчик приступает к выполнению своей части договора. На полевые и камеральные работы смета составляется отдельно, так как объем трудозатрат разный. Как правило обработка измерений в камеральных условиях оценивается дешевле полевой.

При составлении проектно-сметной документации учитываются множество параметров, от которых зависит конечная стоимость готового продукта. Туда входят различные коэффициенты, отвечающие за удорожание или удешевление стоимости. Например, при полевых работах, коэффициент за сложность ситуации при съемке, может варьироваться от 1 до 3. Другими словами, если местность проведения работ густо заселена, застроена на более чем 50% различными сооружениями и имеет разнонаправленный рельеф, то соответственно и оплата будет выше, чем пустой полевой район работ.

В дипломной работе была выполнена камеральная обработка спутниковых наблюдений. Для примера оценки стоимости таких работ, проведенных на производстве, составлена смета, приведённая в таблице 2. С учетом объемов работ и всех коэффициентов, вычислена сумма, которая была бы потрачена заказчиком для камеральной обработки представленного в дипломе эксперимента.

Расчет затрат на производство работ произведен согласно [7], [8].

Таблица 2 – Смета на камеральные работы

Виды работ	Обоснование цен	Кат. Сл-ти	Ед. изм.	Ена единицы	Поправ. Коэфф. К1, К2, К3, К4, К5, К6	Ст-ть с уч. Коэфф.	объ ем	Ст-ть, руб.
Разработка технического проекта	СБЦ - 2006, табл.67, п.5	1	проект	20000	1 1,15 3,34 1,75 1 1	134435,00	1	134435,00
Создание плановой опорной ГНСС сети (кам.)	СБЦ - 2006, табл.8, п.1	1	пт	3599	1 1,15 3,34 1,3 1 1	17970,89	1	17970,89
Определение, расчет координат пунктов	СБЦ- 2004, табл.8, п.1, прим 1	1	пт	3599	0,7 1,15 3,34 1,3 1 1	12579,62	5	62898,10
Составление технического отчета	табл.68, п.5. СБЦ- 2006	1	отчет	15000	1 1,15 3,34 1,75 1 1	100826,25	1	100826,25
Итого по камеральным					316130,24			
НДС 18%					56903,44			
Всего с НДС					373033,68			

Всего по смете: 373 033,68 р.

Поправочные коэффициенты:

К1=1; табл.8, примечание 1; (СБЦ 2004) - без закладки центра;

К2=1,2; полевые работы, 1,15 -камеральные (СБЦ 2004, табл.3 п.5,6);

К3 =3,34; коэффициент к текущим ценам по СБЦ 2004,табл8, прим. 2; СБЦ 2006, письмо Минрегиона России от «15» «07.2011» №18769-АП/08.

К4= 1,75; на камеральные, за исп. комп. технологий СУБЦ-2004 г. п. 15;

К5=К6=1; внутренний, внешний транспорт, СБЦ-2004, табл. 5, п. 4; для камеральных работ.

## 4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

### 4.1 Классификация несчастных случаев в офисе

Несчастливым случаем называют событие или фактор, действующий на человека опасным для здоровья или жизни образом. На производстве тему безопасности жизнедеятельности обходить стороной ни в каком случае нельзя. Управляющий или директор компании несет прямую ответственность за здоровье подчиненных во время нахождения их на рабочем месте. Выполнение геодезических работ не самый безопасный вид работ среди прочих, поэтому требует не меньшего внимания.

Геодезические работы разделяются на две составляющих: полевую и камеральную. Поскольку тема дипломной работы касалась обработки измерений, то вопросы безопасности жизнедеятельности рассмотрены только для камеральной части.

Таким образом о безопасности жизнедеятельности при выполнении геодезических работ во время выполнения дипломного проекта, следует говорить только о камеральной части. По ней все работы выполнялись в лабораториях и аудиториях Сибирского государственного университета геосистем и технологий. Поэтому потенциально вероятные несчастные случаи можно характеризовать по тому же принципу, что и в офисе. К несчастным случаям в офисе относятся возможные события, такие как:

- удар током, при наличии большого количества электроники в помещении,
- замыкание электропроводки,
- споткнулся о провод компьютера,
- тепловые удары,

И многие другие. Но следует отметить, что не все травмы, полученные во время работы в офисном помещении, могут квалифицироваться как несчастный случай. Множество примеров в доказательство этому существует в практике. На-



пример, виды работ, не связанные с прямыми должностными обязанностями, привлекая к травме или иному вреду здоровью, вряд ли будут расценены как несчастный случай на производстве. К слову, итоговое решение о признании или не признании несчастного случая на производстве может принять комиссия организации по расследованию несчастных случаев или трудовой инспектор.

При признании несчастного случая несчётным случаем на производстве, управляющий или комиссия по расследованию несчастных случаев обязаны провести комплекс мероприятий по расследованию такового.

Немаловажное значение имеет перечень мер, которые должен знать и выполнить работодатель по происшествию несчастного случая. Он установлен статьей трудового кодекса РФ и предписывает в данной ситуации следующие действия:

- обеспечение первой медицинской помощи (если нужно, то доставка пострадавшего до медицинского учреждения);
- принятие всевозможных мер для устранения травмирующих факторов для других людей;
- фиксация, документирование обстановки произошедшего, фотографирование и составление первичного акта;
- организация расследования случившегося, оформление в материалах;
- отправка в установленные законом инстанции извещения о происшествии с подробным описанием обстоятельств случившегося.

При происшествии несчастного случая расследование необходимо произвести самым тщательным образом. Это поможет работодателю в случае разбирательств в суде отстоять свою позицию и выйти из сложившейся ситуации с наименьшими потерями.

Но прежде всего, предотвратить лучше, чем потом разбираться и выяснять, поэтому работодателю и подчиненному необходимо создавать безопасные условия труда. Проводить регулярные медосмотры, не допускать к видам работ тех сотрудников, у которых к ним противопоказания, создавать комфортные условия труда.

## 4.2 Описание действий при чрезвычайных ситуациях в офисе

### 4.2.1 Описание действий сотрудников офиса при пожаре

Чрезвычайной ситуацией (ЧС) называется ситуация, сложившаяся на территории определенной области или объекта, вызванная природным явлением, катастрофой, аварией, стихийным бедствием, повлекшая за собой ущерб здоровью или жизни людей, материальные потери и другие неблагоприятные факторы.

При работе людей на предприятии, в частности в офисе в камеральных условиях при обработке геодезических измерений может возникнуть чрезвычайная ситуация, последствия которой могут остаться печальными. Для уменьшения или исключения неблагоприятных результатов ЧС, существует ряд мер, выполнение которых поможет увеличить безопасность людей.

ЧС бывают нескольких видов:

- пожар;
- землетрясение;
- угроза террористического характера.

Для каждого вида существует свой набор действий, рассмотренные ниже.

**Пожар.** При обнаружении очага возгорания, запаха гари или задымления, сотрудник офисного помещения первым делом должен вызвать пожарную охрану по телефону экстренного вызова служб 112, или вызова пожарной бригады 01 или с сотового телефона 001. Не паникуя, спокойным голосом сообщить место пожара, адрес, степень угрозы и другие необходимые данные, свою фамилию и телефон. Известить сотрудников о возгорании, с помощью ручных пожарных извещателей, и, если возгорание возможно потушить подручными средствами, огнетушителем или иными, приступить к тушению очага.

В каждом конкретном случае сотрудник вправе решить, какое действие приоритетнее сделать в первую очередь.

После выхода из задымленного или горящего здания, работник обязан сообщить о себе руководителю. Следует отметить, что в помещениях с лифтами, во

время пожара, пользоваться ими запрещено, во избежание остаться заблокированным при отключении электроэнергии.

Сотрудники офисного помещения могут помочь в тушении пожара любыми способами, не причиняющими риска его здоровью или жизни. Могут и должны сообщить пожарной бригаде об оставшихся людях в помещении.

Руководитель предприятия, узнавший о происшествии так же должен подчиняться определенным правилам поведения в данной ситуации. В его обязанности входит еще раз оповестить службу пожарной безопасности и до прибытия пожарной охраны управлять мероприятиями по эвакуации работников и тушению очага. Важно не допускать панику, и оперативно контролировать вывод людей из помещения. Так же необходимо по возможности закрыть все окна помещения для предотвращения попадания воздуха, вентиляционные отверстия, и ограничить доступ электричества.

Все пути для эвакуации людей должны быть открыты, а пожарные системы активированы, производственные работы остановлены. Руководителем назначаются сотрудники, встречающие пожарную охрану, для пояснений оптимального пути подъезда к очагу возгорания, объяснению расположения пожарных гидрантов и планировки помещения.

Итак, правила при пожаре в офисном помещении:

- сообщить в пожарную службу, и оповестить всех работников;
- осуществить меры по тушению очага;
- при невозможности тушения, покинуть помещение, открыв все эвакуационные выходы;
- оказывать всевозможное содействие бригаде пожарных.

#### *4.2.2 Описание действий сотрудников офиса при террористической угрозе*

Террористический акт – совершение взрыва поджога или иных действий, угрожающих населению, создающих угрозу жизни и здоровью людей. Угроза террористического акта в офисе может поступить как в форме угрозы по любым ка-

налам связи, так и напрямую людьми, захватившими помещение со злоумышленными целями. При угрозе по телефону или в письменной форме, сотруднику или управляющему необходимо зафиксировать полученные данные и проверить их подлинность. Затем обратиться в полицию для получения дальнейших инструкций. При захвате помещения...

Террористический акт – совершение взрыва поджога или иных действий, угрожающих населению, создающих угрозу жизни и здоровью людей. Угроза террористического акта в офисе может поступить как в форме угрозы по любым каналам связи, так и напрямую людьми, захватившими помещение со злоумышленными целями.

При угрозе по телефону или в письменной форме, сотруднику или управляющему необходимо зафиксировать полученные данные и проверить их подлинность. Затем обратиться в полицию для получения дальнейших инструкций.

При захвате помещения напрямую организованной преступной группировкой или одним преступником необходимо независимо от рабочего положения соблюдать ряд мер, которые помогут ослабить или исключить нежелательные последствия.

Такие меры описаны в различных инструкциях. Они определяют действия сотрудников при открытой угрозе проведения террористического акта. Сотрудники обязаны знать и выполнять эти правила. При захвате помещения террористами необходимо:

- соблюдать спокойствие;
- соблюдать требования террористов во избежание усугубления ситуации;
- не привлекать к себе внимания;
- стараться не нервировать захватчиков;
- попытаться запомнить образ, голос или какие-то отличительные особенности.

Существуют определенные правила поведения при обнаружении взрывоопасного предмета. Он может находиться как в офисном помещении, так и в местах большого скопления людей. В случае обнаружения необходимо:

- незамедлительно сообщить о предмете, вызывающем подозрение должностному лицу и полицию по телефону 02 или 112;
- при проведении рядом с предметом каких-либо работ, приостановить их и отвести людей на безопасное расстояние;
- установить предупредительные знаки и ждать прибытие полиции.

При обнаружении подозрительного бесхозного предмета запрещается проводить с ним любые манипуляции, чтобы не рисковать своей и чужими жизнями.

#### *4.2.3 Описание действий сотрудников офиса при землетрясении*

Землетрясение – обычное явления, происходящее на нашей планете практически ежедневно. Большинство толчков не несут серьезных последствий и мало угрожают жизни и здоровью людей. Но на границах тектонических плит случаются землетрясения, по мощности достаточные, для разрушения объектов, созданных человеком. А, следовательно, и вызывающие опасность для людей, находящихся внутри таких объектов, рядом или вблизи.

Для Новосибирской области такое природное явление скорее исключение из правил, так как географически наш район расположен вдали от границ соприкосновения литосферных плит. Но, все же, минимальные толчки, отголоски крупных землетрясений здесь почувствовать можно.

При землетрясениях существуют определенные правила и действия, соблюдение которых может помочь в сложившейся чрезвычайной ситуации.

В случае внезапного землетрясения, заставшего в офисном помещении, сотрудникам необходимо покинуть здание, извещая об этом руководство. Следует как можно скорее собрать необходимые вещи эвакуироваться на улицу, подальше от объектов, представляющих угрозу обрушения. Важно не допустить панику, и оперативно действовать в сложившейся ситуации, помогая выйти на улицу людям с ограниченными возможностями и детям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы являлось выявление смещение исходного пункта сети постоянно действующих базовых станций наземной инфраструктуры ГЛОНАСС/GPS на территории Новосибирской области за счет геодинамических процессов из обработки спутниковых геодезических измерений.

– рассмотрены теоретические причины изменения положения пунктов сети постоянно действующих базовых станций;

– описан процесс математической обработки спутниковых измерений в программном комплексе TrimbleBusinessCentre;

– выполнено определение геоцентрических координат определяемого пункта NSKW двумя способами: онлайн сервисом и программой для обработки спутниковых измерений на эпохи 2010-2016 гг.;

– проведен анализ полученных результатов.

В результате анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

– отклонение от средней длины вычисленных векторов в различные эпохи по данным таблицы 3 в плане не превышают 9 мм, по высоте 38 мм;

– смещение станции NSKW, вычисленные с помощью ТВС между эпохами 2010-2016, составляет по координате X – 14,6 см, по Y – 1,9 см, по Z – 0,1 см. При СКО определения координат, взятой из отчета об уравнивании, по координате X – 0,002 м, по Y – 0,003 м, по Z – 0,004 м;

– смещение станции NSKW, вычисленные через онлайн сервис AUSPOS между эпохами 2010-2016, составляет по координате X – 14,2 см, по Y – 1,9 см, по Z – 0,2 см. Ошибки определения координат содержатся в отчетах AUSPOS и представлены не в плановой системе координат, а в сферической. Составляют по долготе – 0,004 м, по широте – 0,003 м, по высоте – 0,010 м.

Таким образом, на основании полученных координат, можно сделать выводы о скорости движения станции NSKW – по координате X равняется 2,43 см/год, по Y – 0,31 см/год и по Z – 0,03 см/год.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]: монография / К.М.Антонович. - 1 том – Новосибирск, 2005. – 340с.
- 2 Голубев, А. Глобальная сеть для ловли радиоволн [Текст] статья: 2005 – 7 с.
- 3 Журнал [Геопрофи] Геодезия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/>. – Загл. с экрана.
- 4 Липатников, Л.А. Учёт движения литосферных плит для повышения точности современной координатной основы [Текст]: тезис / Л.А.Липатников - Минск, 2014 - 3с.
- 5 Методы изучения горизонтальных движений [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа <http://www.pppa.ru/additional/04geo/04/geo02.php> - Загл. с экрана.
- 6 Система геодезических координат 1995 года (СК-95) [Электронный ресурс] – СПб, Режим доступа: <http://www.spbtgik.ru/book/2121.htm/> - Загл. с экрана.
- 7 Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства, СБЦ-2004. [Текст] – М.: Госстрой России, 2004 г.
- 8 Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства, СБЦ-2006. [Текст] – М.: Госстрой России, 2006 г.
- 9 Фахрутдинов, И.И., Андреева, Н.В. Методы изучения движения литосферных плит [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2016/1490/19262> - Загл. с экрана.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ПРЕДСКАЗАННЫЕ КООРДИНАТЫ СТАНЦИЙ IGS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА NSKW

		Прямоугольные (м)			
дата		2010 ноябрь	2011 январь	2016 январь	2016 апрель
NRIL	X	64537,0623	64537,0568	64536,9468	64536,9413
	Y	2253782,8801	2253782,8809	2253782,8964	2253782,8972
	Z	5946363,504	5946363,504	5946363,508	5946363,508
POL2	X	1239971,2103	1239971,2035	1239971,0670	1239971,0602
	Y	4530790,1250	4530790,1263	4530790,1528	4530790,1541
	Z	4302578,8441	4302578,8453	4302578,8693	4302578,8705
ARTU	X	1843956,5798	1843956,5739	1843956,4549	1843956,4489
	Y	3016203,1646	3016203,1669	3016203,2119	3016203,2141
	Z	5291261,7596	5291261,7606	5291261,7816	5291261,7827
IRKJ	X	-968328,7283	-968328,7347	-968328,8632	-968328,8697
	Y	3794426,5193	3794426,5191	3794426,5151	3794426,5149
	Z	5018167,2428	5018167,2418	5018167,2228	5018167,2219

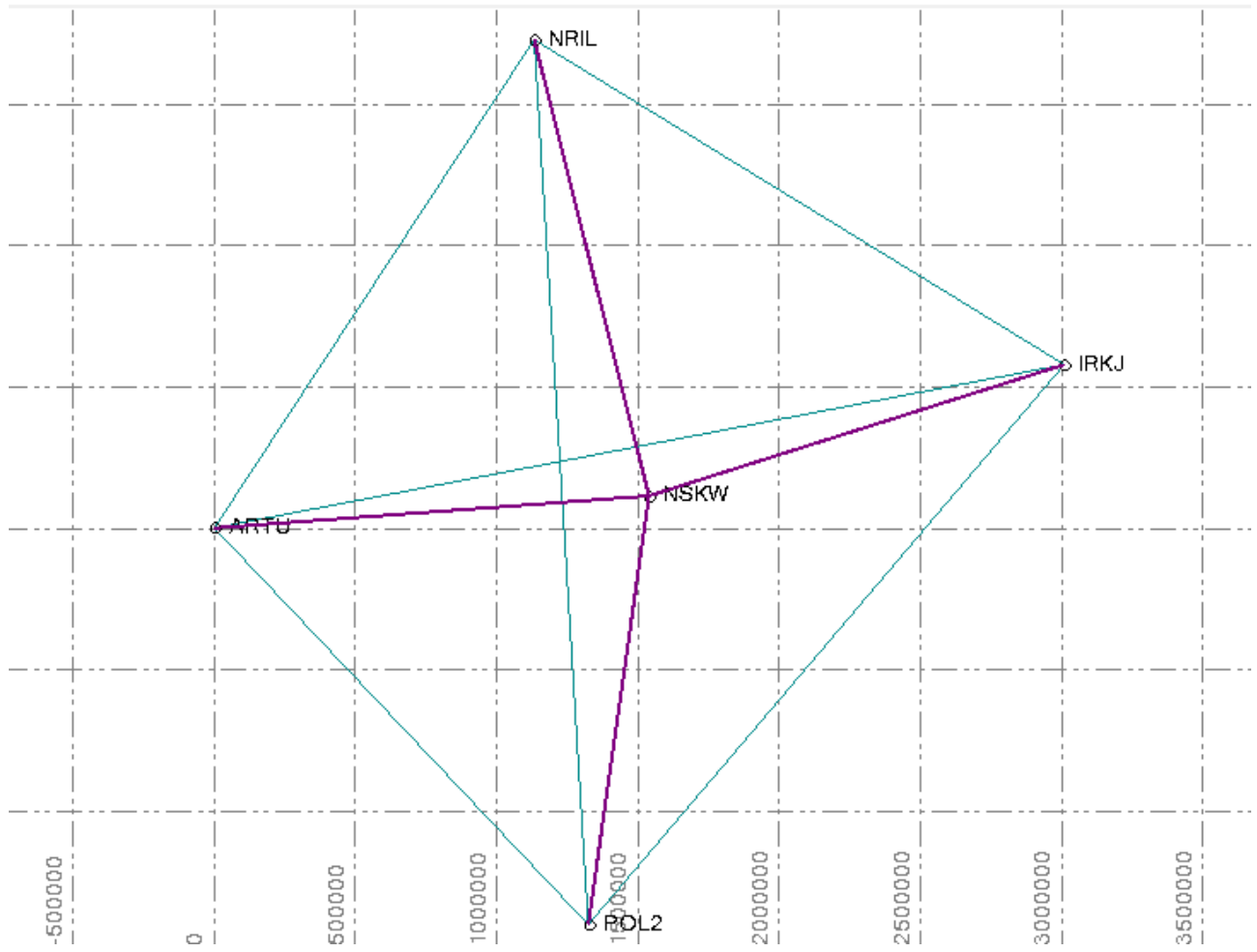
		Геодезические			
дата		2010 ноябрь	2011 январь	2016 январь	2016 апрель
NRIL	B	69°21'42,5996"	69°21'42,5996"	69°21'42,5993"	69°21'42,5993"
	L	88°21'35,2218"	88°21'35,2223"	88°21'35,2324"	88°21'35,2329"
	H	47,9219 м	47,9223 м	47,9304 м	47,9308 м
POL2	B	42°40'47,1731"	42°40'47,1731"	42°40'47,1739"	42°40'47,1739"
	L	74°41'39,3612"	74°41'39,3615"	74°41'39,3676"	74°41'39,3679"
	H	1714,2173 м	1714,2178 м	1714,2263 м	1714,2268 м
ARTU	B	56°25'47,3588"	56°25'47,3589"	56°25'47,3599"	56°25'47,3599"
	L	58°33'37,6528"	58°33'37,6532"	58°33'37,6605"	58°33'37,6609"
	H	247,5739 м	247,5742 м	247,5786 м	247,5788 м
IRKJ	B	52°13'08,4732"	52°13'08,4731"	52°13'08,4720"	52°13'08,4720"
	L	104°18'58,2639"	104°18'58,2642"	104°18'58,2708"	104°18'58,2711"
	H	502,0558 м	502,0559 м	502,0579 м	502,0580 м



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

## СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАНЦИЙ IGS



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ ЛИНИЙ НА РАЗНЫЕ ЭПОХИ

Таблица В.1 – Результаты обработки БЛ на эпоху ноябрь 2010 года

Измерение	От	До	Тип решения	П. Точн. (Метр)	В. Точн. (Метр)	Элл. расстояние (Метр)	ΔВысота (Метр)
(B44)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1625776,656	61,629
(B54)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,008	1625776,652	61,657
(B24)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,011	1625776,659	61,593
(B34)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,010	1625776,661	61,590
(B35)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,010	1446928,580	-392,533
(B45)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1446928,573	-392,506
(B55)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,005	1446928,568	-392,452
(B5)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1446928,567	-392,467
(B15)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1446928,570	-392,500
(B25)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1446928,574	-392,509
(B37)	POL2	NSKW	Фикс.	0,006	0,010	1491932,143	-1604,694
(B47)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,010	1491932,139	-1604,684
(B57)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,011	1491932,142	-1604,691
(B7)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1491932,132	-1604,649
(B17)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1491932,135	-1604,666
(B27)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,010	1491932,139	-1604,689
(B26)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,015	1528113,573	-138,058
(B46)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,011	1528113,575	-138,056
(B56)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,570	-138,012
(B36)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,011	1528113,573	-138,050
(B16)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,011	1528113,577	-138,061
(B6)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,012	1528113,579	-138,062
(B14)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,006	1625776,653	61,661
(B4)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1625776,656	61,619

Таблица В.2 – Результаты обработки БЛ на эпоху январь 2011 года

Измерение	От	До	Тип решения	П. Точн. (Метр)	В. Точн. (Метр)	Элл. расстояние (Метр)	ΔВысота (Метр)
(B66)	NSKW	ARTU	Фикс.	0,006	0,010	1528113,556	138,056
(B56)	NSKW	ARTU	Фикс.	0,005	0,010	1528113,564	138,035
(B86)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,013	1528113,558	-138,035
(B76)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,006	0,011	1528113,562	-138,033
(B46)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,006	0,011	1528113,561	-138,033
(B16)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,006	0,011	1528113,560	-138,021
(B1)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,006	0,015	1528113,556	-138,010
(B36)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,007	0,011	1528113,560	-138,031
(B26)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,008	0,012	1528113,549	-138,023
(B64)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,008	0,017	1625776,650	61,570
(B54)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,015	0,015	1625776,653	61,573
(B84)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,010	1625776,655	61,607
(B74)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,007	0,015	1625776,653	61,583
(B44)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1625776,651	61,613
(B14)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,011	1625776,648	61,602
(B6)	NSKW	NRIL	Фикс.	0,005	0,011	1625776,649	-61,591
(B34)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,013	1625776,660	61,591
(B24)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,017	0,017	1625776,646	61,597
(B67)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,011	1491932,128	-1604,699
(B57)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,011	1491932,128	-1604,703
(B87)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,012	1491932,131	-1604,699
(B77)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,011	1491932,130	-1604,706
(B47)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,012	1491932,128	-1604,702
(B17)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1491932,133	-1604,714
(B10)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1491932,128	-1604,685
(B37)	NSKW	POL2	Фикс.	0,004	0,009	1491932,123	1604,711
(B27)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1491932,131	-1604,716
(B65)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,011	0,013	1446928,570	-392,551
(B55)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,010	0,011	1446928,570	-392,540
(B85)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,010	1446928,571	-392,537
(B75)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,009	0,010	1446928,573	-392,540
(B45)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,011	0,011	1446928,569	-392,537
(B15)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,009	0,010	1446928,569	-392,543
(B3)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,011	0,010	1446928,570	-392,544
(B35)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,010	0,011	1446928,568	-392,541
(B25)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,012	0,012	1446928,571	-392,561

Таблица В.3 – Результаты обработки БЛ на эпоху январь 2016 года

Измерение	От	До	Тип решения	П. Точн. (Метр)	В. Точн. (Метр)	Элл. расстояние (Метр)	ΔВысота (Метр)
(B43)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,008	0,007	1528113,569	-137,995
(B23)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,006	1528113,555	-137,935
(B53)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,006	1528113,558	-137,929
(B83)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,006	1528113,553	-137,908
(B93)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,006	0,008	1528113,554	-137,882
(B63)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,006	1528113,553	-137,908
(B73)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,006	1528113,555	-137,907
(B1)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,007	1528113,551	-137,916
(B34)	POL2	NSKW	Фикс.	0,007	0,007	1491932,115	-1604,632
(B44)	POL2	NSKW	Фикс.	0,007	0,007	1491932,117	-1604,647
(B14)	POL2	NSKW	Фикс.	0,006	0,006	1491932,108	-1604,598
(B24)	POL2	NSKW	Фикс.	0,008	0,008	1491932,118	-1604,639
(B54)	POL2	NSKW	Фикс.	0,007	0,009	1491932,125	-1604,702
(B84)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,007	1491932,105	-1604,625
(B94)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,106	-1604,605
(B64)	POL2	NSKW	Фикс.	0,005	0,008	1491932,119	-1604,672
(B74)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,108	-1604,607
(B6)	POL2	NSKW	Фикс.	0,018	0,008	1491932,115	-1604,642
(B12)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1625776,654	61,640
(B22)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1625776,647	61,628
(B52)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,005	1625776,645	61,682
(B82)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,008	1625776,638	61,672
(B92)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,006	0,009	1625776,636	61,700
(B62)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,008	1625776,645	61,625
(B72)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,006	1625776,641	61,665
(B3)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,008	1625776,650	61,629
(B38)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,006	0,004	1446928,561	-392,439
(B48)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,015	0,010	1446928,570	-392,519
(B18)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,007	0,005	1446928,573	-392,494
(B28)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,007	0,006	1446928,566	-392,445
(B58)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,005	0,013	1446928,578	-392,572
(B88)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,007	0,008	1446928,562	-392,490
(B98)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,017	0,010	1446928,565	-392,505
(B68)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,016	0,010	1446928,574	-392,557
(B78)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,008	0,009	1446928,566	-392,505
(B10)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,007	0,009	1446928,573	-392,470

Таблица В.4 – Результаты обработки БЛ на эпоху апрель 2016 года

Измерение	От	До	Тип решения	П. Точн. (Метр)	В. Точн. (Метр)	Элл. расстояние (Метр)	ΔВысота (Метр)
(B103)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,005	0,009	1528113,561	-138,056
(B97)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1528113,560	-138,029
(B109)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,560	-138,030
(B115)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,560	-138,035
(B73)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,563	-138,042
(B67)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,561	-138,037
(B79)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,561	-138,044
(B91)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,559	-138,044
(B85)	ARTU	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1528113,562	-138,045
(B104)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1491932,118	-1604,689
(B98)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,115	-1604,669
(B110)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1491932,116	-1604,674
(B122)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1491932,121	-1604,699
(B116)	POL2	NSKW	Фикс.	0,003	0,007	1491932,120	-1604,684
(B74)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,113	-1604,656
(B68)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,111	-1604,649
(B80)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,111	-1604,669
(B92)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1491932,115	-1604,675
(B86)	POL2	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1491932,116	-1604,671
(B102)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,005	0,010	1625776,653	61,566
(B96)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,006	0,011	1625776,654	61,569
(B108)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1625776,649	61,623
(B120)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,007	1625776,656	61,610
(B114)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1625776,656	61,608
(B72)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,009	0,013	1625776,655	61,561
(B66)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,009	1625776,651	61,583
(B90)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,007	0,010	1625776,650	61,622
(B84)	NRIL	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1625776,647	61,610
(B150)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,005	0,010	1446928,580	-392,535
(B146)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,006	0,008	1446928,570	-392,510
(B154)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,009	0,010	1446928,580	-392,524
(B162)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,009	0,009	1446928,569	-392,502
(B158)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,006	0,009	1446928,571	-392,511
(B130)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,005	0,008	1446928,574	-392,522
(B126)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,004	0,008	1446928,574	-392,516
(B134)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,006	0,009	1446928,573	-392,521
(B142)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,007	0,010	1446928,581	-392,537
(B138)	IRKJ	NSKW	Фикс.	0,008	0,009	1446928,573	-392,500

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ В ПРОГРАММЕ TRIMBLE  
BUSINESSCENTER И ИХ СРАВНЕНИЕ С КООРДИНАТАМИ, ПОСЧИТАННЫ-  
МИ НА ОНЛАЙН КАЛЬКУЛЯТОРЕ AUSPOS

Таблица Г.1 – Сравнение результатов на эпоху ноябрь 2010

прямоугольные координаты AUCOPOS на эпоху 6 ноябрь, 2010				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,466</b>	<b>3639413,254</b>	<b>5200659,495</b>	<b>01.10.2010</b>
ARTU	1843956,583	3016203,170	5291261,766	01.10.2010
IRKJ	-968328,724	3794426,522	5018167,243	01.10.2010
NRIL	64537,064	2253782,885	5946363,505	01.10.2010
POL2	1239971,214	4530790,114	4302578,839	01.10.2010
вычисленные прямоугольные в Trimble BC на эпоху ноябрь, 2010				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,471</b>	<b>3639413,265</b>	<b>5200659,506</b>	<b>10.2010 г</b>
ARTU	1843956,583	3016203,170	5291261,766	10.2010 г
IRKJ	-968328,724	3794426,521	5018167,242	10.2010 г
NRIL	64537,064	2253782,885	5946363,505	10.2010 г
POL2	1239971,214	4530790,114	4302578,839	10.2010 г
разница между вычисленными координатами пункта NSKW на онлайн калькуляторе AUSPOS и в программном продукте Trimble BC				
	0,005	0,011	0,011	

Таблица Г.2 – Сравнение результатов на эпоху январь 2011

прямоугольные координаты AUCOPOS на эпоху 6 январь, 2011				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,457</b>	<b>3639413,242</b>	<b>5200659,470</b>	<b>06.01.2011</b>
ARTU	1843956,564	3016203,16	5291261,735	06.01.2011
IRKJ	-968328,728	3794426,521	5018167,241	06.01.2011
NRIL	64537,059	2253782,887	5946363,504	06.01.2011
POL2	1239971,203	4530790,111	4302578,839	06.01.2011
вычисленные прямоугольные в Trimble BC на эпоху январь, 2011				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,455</b>	<b>3639413,251</b>	<b>5200659,480</b>	<b>01.2011 г</b>
ARTU	1843956,574	3016203,167	5291261,761	01.2011 г
IRKJ	-968328,735	3794426,519	5018167,242	01.2011 г
NRIL	64537,057	2253782,881	5946363,504	01.2011 г
POL2	1239971,204	4530790,126	4302578,845	01.2011 г
разница между вычисленными координатами пункта NSKW на онлайн калькуляторе AUSPOS и в программном продукте Trimble BC				
	-0,002	0,009	0,010	

Таблица Г.3 – Сравнение результатов на эпоху январь 2016

прямоугольные координаты AUCOPOS на эпоху 6 январь, 2016				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,330</b>	<b>3639413,266</b>	<b>5200659,485</b>	<b>06.01.2016</b>
ARTU	1843956,449	3016203,206	5291261,767	06.01.2016
IRKJ	-968328,867	3794426,529	5018167,236	06.01.2016
NRIL	64536,953	2253782,902	5946363,509	06.01.2016
POL2	1239971,071	4530790,138	4302578,862	06.01.2016
вычисленные прямоугольные в Trimble BC на эпоху январь, 2016				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,335</b>	<b>3639413,315</b>	<b>5200659,545</b>	<b>01.2016 г</b>
ARTU	1843956,449	3016203,206	5291261,766	01.2016 г
IRKJ	-968328,866	3794426,529	5018167,236	01.2016 г
NRIL	64536,953	2253782,901	5946363,509	01.2016 г
POL2	1239971,071	4530790,137	4302578,862	01.2016 г
разница между вычисленными координатами пункта NSKW на онлайн калькуляторе AUSPOS и в программном продукте Trimble BC				
	0,005	0,049	0,060	

Таблица Г.4 – Сравнение результатов на эпоху апрель 2016

прямоугольные координаты AUCOPOS на эпоху 1 апрель, 2016				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,324</b>	<b>3639413,273</b>	<b>5200659,497</b>	<b>01.04.2016</b>
ARTU	1843956,448	3016203,216	5291261,780	01.04.2016
IRKJ	-968328,867	3794426,514	5018167,227	01.04.2016
NRIL	64536,945	2253782,901	5946363,510	01.04.2016
POL2	1239971,057	4530790,131	4302578,848	01.04.2016
вычисленные прямоугольные в Trimble BC на эпоху апрель, 2016				
назв.	X	Y	Z	дата
<b>NSKW</b>	<b>455589,325</b>	<b>3639413,284</b>	<b>5200659,507</b>	<b>04.2016</b>
ARTU	1843956,449	3016203,214	5291261,783	04.2016
IRKJ	-968328,870	3794426,515	5018167,222	04.2016
NRIL	64536,941	2253782,897	5946363,508	04.2016
POL2	1239971,060	4530790,154	4302578,871	04.2016
разница между вычисленными координатами пункта NSKW на онлайн калькуляторе AUSPOS и в программном продукте Trimble BC				
	0,001	0,011	0,010	