

Санкт-Петербургский государственный университет

КУЗНЕЦОВА Василина Михайловна

Выпускная квалификационная работа

**МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГНСС-ТЕХНОЛОГИЙ.**

Основная образовательная программа магистратуры

«Геоинформационное картографирование»

Профиль картография

Научный руководитель:
к.т.н., доцент
ТЮРИН Сергей Вячеславович

Рецензент:
Начальник отдела обеспечения сети
референционных станций
СПб ГКУ ЦИОГД
Флёров Даниил Геннадьевич

Санкт-Петербург

2018

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Обзор существующей литературы и программного обеспечения	5
1.1. Обзор литературы	5
1.2. Обзор существующего программного обеспечения	7
Глава 2. Геодезический мониторинг с использованием ГНСС-технологий.....	10
Глава 3. Методы определения координат с использованием ГНСС-технологий	12
3.1. Метод PPP – Precise Point Positioning	12
3.2. Метод относительных измерений	14
Глава 4. Метод “Гусеница” – SSA	16
Глава 5. Исследование сети постоянно действующих базовых станций на территории г.Санкт-Петербурга	23
5.1. Подготовка данных для исследований	25
5.2. Обработка данных относительным методом.....	26
5.3. Обработка данных методом PPP	27
5.4. Обработка временных рядов методом SSA.....	27
5.5. Причины тренда и периодических движений станций	30
Заключение.....	34
Список литературы.....	35
Приложение А.....	38
Приложение Б.	44
Приложение В.....	51

Введение

Геодезический мониторинг является важным видом работ, который предполагает наблюдения за строящимися и находящимися в районах строительства зданиями и сооружениями, за стратегически важными объектами (гидротехнические объекты, высотные здания, архитектурные памятники и другие инженерные объекты), а также за природными объектами (локальные геодинамические регионы и глобальная динамика плит). При этом целью наблюдений является выявление критичных смещений объекта, причин их возникновения, а также прогнозирование возможной динамики и разработка мер по устранению негативных процессов.

Спутниковые измерения широко используются во всех современных видах геодезических работ и могут быть использованы для выполнения мониторинга. Главное преимущество мониторинга с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) состоит в его непрерывном характере. Проводя долговременный и непрерывный мониторинг с использованием ГНСС-технологий можно выделить суточные и сезонные перемещения, что наряду с выявленными трендами будет более полно характеризовать поведение объекта мониторинга. При выполнении работ классическими геодезическими методами, проводимых с интервалом в год, полгода или ежемесячно, эти суточные и сезонные периодические перемещения выявить трудно. Также достоинствами мониторинга с применением ГНСС-технологий являются автоматизация измерений, которая сводит к минимуму ошибки исполнителей, а также отсутствие зависимости проведения измерений от погодных условий.

Технологии геодезического мониторинга активно развиваются во всем мире. В России также идет процесс внедрения и совершенствования современных технологий геодезического мониторинга. Применение ГНСС-технологий благодаря своему непрерывному и автоматизированному характеру позволяет своевременно обнаруживать негативные сдвиги и перемещения, определять их причины и вовремя предотвращать аварийные ситуации. Поэтому крайне актуальным и важным является совершенствование существующих методов мониторинга.

Таким образом, целью работы является исследование методов обработки данных с перманентных ГНСС-станций применительно к задачам геодезического мониторинга.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить существующие методы геодезического мониторинга с использованием ГНСС-технологий;

- изучить существующие методы обработки спутниковых измерений (в том числе метод PPP);
- изучить существующие методы обработки временных рядов;
- подготовить данные из архивов сетей базовых станций на территорию г. Санкт-Петербурга;
- разработать алгоритмы обработки данных с целью геодезического мониторинга;
- исследовать сеть базовых станций КГА СПб;
- исследовать сеть базовых станций СПбГУ.

Объектом исследований является геодезический мониторинг, а предметом – использование ГНСС-технологий в геодезическом мониторинге.

Научная значимость данной работы заключается в том, что геодезический мониторинг с применением ГНСС-технологий активно используется в научных исследованиях в разных областях, особенно в современной геодинاميке. В связи с этим исследование методов обработки спутниковых наблюдений с перманентных станций является очень важным для достижения максимально достоверных результатов.

Глава 1. Обзор существующей литературы и программного обеспечения

1.1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В качестве материалов по теме работы использовались научная литература, учебно-методические пособия, а также нормативно-правовая документация Российской Федерации.

Одним из основных фундаментальных источников, в котором подробно раскрыты теоретические аспекты ГНСС-технологий в геодезии, является монография Антоновича К.М. Данный автор подробно объясняет устройство спутниковых систем, а также методы наблюдений и основы обработки таких измерений в двух томах. Кроме того, были рассмотрены последние публикации этого автора о спутниковых измерениях.

Для выявления основных направлений современных научных и практических исследований были использованы публикации за последние пять лет в журналах по данной специальности, а именно: «Геодезия и картография»; «Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка»; «Геопрофи»; «Geodesy and cartography»; «GPS World» и другие.

Большинство публикаций посвящены темам:

- исследование влияния атмосферы на результаты спутниковых измерений, а также изучение атмосферы по этим измерениям (Антонович К.М. и др.; Калугин В.Ф.; Вшикова О.В.; Куприянов А.О., Морозов Д.А.; Майоров А.А. и др.; Федянин М.Р., Лазарев В.М.; Jitka Mučková, Rostislav Dandoš, Petr Jadvišček & Miroslav Konečný; Sobhy Abdel Monem Younes & Hafez Abbas Afify; Liangke Huang, Weiping Jiang, Lilong Liu, Hua Chen, Shirong Ye);
- геодинамические исследования и геодезический мониторинг с использованием ГНСС-технологий (Горшков В.Л., Щербакова Н.В.; Серебрякова Л.И.; Басманов А.В.; Азаров Б.Ф.,; Матвеев А.Ю. и др.; Маркузе Ю.И., Бондаренко А.А.; Иодис В.Я. и др.; C. Kreemer, G. Blewitt & E.C. Klein; G. Blewitt and D. Lavallee; Mohammad Ali Goudarzi, Marc Cocard & Rock Santerre; Petr Jadvišček, Rostislav Dandoš & Tomáš Jiroušek);
- исследование и использование референцных станций (Антонович К.М. и др.; Богданец Е.С., Черёмухина О.О.; Астапович А.В., Штейн С.В., Богданов А.С.; Эминов Р.А.; Струков А.А.; Кугушев Ш.Б., Мусалимов Р.С.; Фялковский А.Л.; Асташенков Г.Г. и др.; Ванин С.А., Серегина Ю.В.);
- обработка спутниковых измерений (Антонович К.М. и др.; Герасименко М.Д., Каморный В.М.; Войтенко А.В., Быков В.Л.; Конон Н.И. и

др.; Зарзура Ф.Х., Мазуров Б.Т.; Миронов С.А.; Сурнин Ю.В., Струков А.А.; Фялковский А.Л.; Бондаренко С.С.; Барабанова Л.П.; Маркузе Ю.И., Бондаренко А.А.; Падве В.А.; Milan Mikoláš , Rostislav Dandoš & Marie Subiková; A. Khodabandeh, P. J. G. Teunissen);

- исследование точного абсолютного позиционирования (PPP - Precise Point Positioning) (Антонович К.М. и др.; Липатников Л.А.; Куприянов А.О. и др.; Шевчук С.О. и др.; Xingxing Li, Xin Li, Yongqiang Yuan, Keke Zhang, Xiaohong Zhang; Xinghan Chen , Maorong Ge , Harald Schuh);

- использование ГНСС-технологий для создания систем координат (Демьянов Г.В. и др.; Толоконников Д.В.; Didzis Dobelis & Jānis Zvirgzds; Timo Saari, Markku Poutanen);

- программное обеспечение для спутниковых измерений (Июдис В.Я.; Грохольский Д.В. и др.);

- использование ГНСС-технологий для исследований в различных научных областях (Валеев С.Г. и др.).

Геодезический мониторинг с использованием ГНСС-технологий широко исследуется авторами. Для крупных объектов, таких как мосты или плотины, которые требуют непрерывного наблюдения, мониторинг с применением спутниковых измерений крайне актуален. Например, мостовой переход через р. Обь у г. Барнаула шириной 32 метра и 943 метра в длину является объектом мониторинга, в том числе с применением ГНСС-технологий. Б.Ф. Азаров описывает в своей статье используемые методики наблюдений за деформациями сооружения [1]. Спутниковые наблюдения используют и при мониторинге уникальных архитектурных сооружений (высотные здания, спортивные сооружения и другие) [6, 15, 16].

ГНСС-технологии используют для геодезического мониторинга природных объектов, исследования геодинамики. Так Горшков В.Л. и Щербакова Н.В. в своих работах [8, 9, 10, 29] описывают результаты и методы своих исследований на территории бассейна Финского залива Балтийского моря. В работах были использованы данные ГНСС-наблюдений на перманентных станциях из архивов Европейской международной глобальной сети (EPN), Комитета по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга и на других станциях Санкт-Петербурга и Ленинградской области различных геодезических и научных организаций за период с 1993 по 2014 года. По каждой станции были вычислены среднесуточные положения методом Precise Point Position (PPP), используя программное обеспечение GIPSY версии 6.3. По этим рядам положений были исследованы скорости станций. Для

правильной оценки скоростей и их ошибок необходимо предварительно убрать из результатов низкочастотные периодические компоненты в координатах станций (в основном сезонные и полугодовые). Эта периодика положений станций вызвана в основном сезонными вариациями атмосферных и гидрологических нагрузок. В результате векторы скоростей, определенные авторами, указывают на локальный поворот Балтийского щита относительно Восточно-Европейской платформы. Регион сопряжения кристаллического Балтийского щита и осадочной Восточно-Европейской платформы является интересным в геодинамическом отношении, особенно после Осмуссаарского (25.10.1976 г.) и Калининградского (21.09.2004 г.) землетрясений.

Результаты мониторинга на трех геодинамических полигонах Росреестра были описаны в статьях Серебрякова Л.И. и Басманова А.В.[4, 21, 22, 23]. Исследования производились по данным с повторных ГНСС-наблюдений в 2014-2015 годах на территории Северного Кавказа, Байкальской рифтовой зоне и Дальнего Востока (северная часть о. Сахалин). Спутниковые измерения на всех полигонах выполнялись в режиме статики на не менее двух станциях одновременно. В результате обработки было выявлено, что на всех полигонах присутствуют смещения станций, а следовательно, присутствует деформация земной поверхности в этих геодинамических районах.

1.2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В настоящее время в мире активно разрабатывается программное обеспечение для обработки ГНСС-измерений, как в научных центрах, так и в коммерческих организациях.

Соответственно все специальное программное обеспечение можно условно разделить на следующие категории [27]:

- коммерческие программы;
- некоммерческие программы;
- научные программы;
- online-сервисы обработки.

Коммерческие продукты служат в основном для работы с измерениями, выполненными приемниками конкретного производителя. Для дальнейшей обработки в других программных обеспечениях или для обработки данных с аппаратуры других производителей используется международный универсальный формат RINEX.

Функциональные возможности программ такой категории разработаны для решения различных геодезических задач обычными пользователями ГНСС-технологий.

Внутренние математические алгоритмы защищены авторским правом и скрыты от пользователей.

К категории коммерческих программных обеспечений относятся:

- Trimble Business Center (Trimble Navigations);
- Topcon/Magnet Tools (Topcon Inc.);
- Leica Geo Office (Leica Geosystems);
- Pinnacle/Justin (Javad Inc.);
- WayPoint Graf-Nav (NovAtel Inc.) и др.

Некоммерческими продуктами можно пользоваться бесплатно, используя свободные лицензии. Математические алгоритмы и программный код открыт и даже может редактироваться самими пользователями.

Функциональные возможности программных обеспечений такой категории близки к коммерческим продуктам, но немного проще, без привязки к конкретным внутренним форматам производителей. Финансирование создания этих программных комплексов происходит за счет получаемых грантов и внешних инвестиций.

К категории некоммерческих программных обеспечений относятся:

- GPSToolkit (UNAVCO);
- RTKLib (T. Tacsu).

Научные программные продукты часто имеют открытые внутренние математические алгоритмы. Однако использование этих комплексов может быть и бесплатным, и на коммерческой основе. Продукты такой категории разрабатываются в научных организациях, университетах.

Функциональные возможности данных программных обеспечений расширены по сравнению с другими видами программ, так как разработка производится для решения различных нетипичных научно-исследовательских задач. Однако, интерфейс не ориентирован на неподготовленного пользователя и требует подготовки и обучения перед использованием.

К категории научных программных обеспечений относятся:

- Bernese (Астрономический университет Берна);
- GAMIT/GLOBK (Массачусетский институт технологий);
- GIPSY-OASIS II (Лаборатория реактивного движения Калифорнийского института технологий);
- GEONAP (Университет Ганновера) и др.

Online-сервисы по обработке спутниковых измерений могут использоваться как бесплатно, так и на коммерческой основе. Некоторые из сервисов ограничены по

территории использования, так как обрабатывают измерения на основе данных различных сетей базовых станций. Другие сервисы имеют функционирование на глобальном уровне за счет использования метода Precise Point Positioning (PPP).

К категории online-сервисов относятся:

- AUSPOS (Правительство Австралии);
- CSRS-PPP (Управление природными ресурсами Правительства Канады);
- APPS (Лаборатория реактивного движения Калифорнийского института технологий);
- magicGNSS (GMV) и другие.

Таким образом, можно сделать вывод, что некоммерческие и бесплатные online-сервисы могут быть использованы для обработки спутниковых измерений при невозможности использовать коммерческие продукты, в том числе в целях уменьшения затрат на производство работ.

Так как для обработки спутниковых измерений в рамках учебной и научно-исследовательской работы кафедры картографии и геоинформатики Санкт-Петербургского Государственного Университета нет возможности использовать научные программные комплексы (такие как Bernese, GAMIT/GLOBK, GIPSY-OASIS II), то в данной работе используются имеющиеся комплексы (Magnet Tools, Trimble Business Center) и бесплатный online-сервис CSRS-PPP для обработки в абсолютном режиме по методу PPP, так как коммерческие продукты дают возможность обрабатывать только в относительном режиме.

Глава 2. Геодезический мониторинг с использованием ГНСС-технологий

Мониторинг — «наблюдение за состоянием окружающей среды (атмосферы, гидросферы, почвенно-растительного покрова, а также техногенных систем) с целью ее контроля, прогноза и охраны». При этом различают глобальный, региональный и локальный уровни мониторинга [5].

Геодезический мониторинг основан на наблюдении за геопространственным положением объектов окружающей среды.

При этом можно выделить различные виды мониторинга [14]:

- мониторинг земной поверхности;
- мониторинг объектов;
- мониторинг окружающей среды.

Мониторинг земной поверхности различают как наблюдение за [3]:

- общеземной координатной системой ITRF, в том числе исследование тектонических плит, параметров движения спутников, вращения Земли;
- региональными геодинамическими сетями;
- локальными геодинамическими объектами;
- уровнем воды, ледниками и т. д.

Мониторинг объектов включает в себя наблюдения за их состоянием (т.е. деформации объекта), а также за их положением. Исследования деформаций с применением ГНСС-технологий применяется уже с 1986 г. С развитием современных технологий и повышением точности определения местоположения спутниковые методы стали шире применяться в наблюдениях за деформациями. Использование ГНСС-технологий в мониторинге положения может быть в целях контроля за транспортными средствами, за перемещениями животных и в ряде других областей человеческой деятельности [14].

Мониторинг окружающей среды включает в себя исследование атмосферы, при этом ГНСС-технологии помогают в определении пространственного положения непосредственно станции измерения параметров атмосферы, а также используются сигналы от спутников для исследования среды, через которую они прошли. Такие исследования проводят многие современные ученые [17, 33].

При геодезическом мониторинге, выполняемом и традиционными, и спутниковыми методами существуют общие требования:

- закрепленные точки должны быть в легко находимых местах;

- закрепленные точки должны быть устроены так, чтобы удобно было центрировать приборы и для традиционных, и для спутниковых наблюдений.

Однако существуют и отличительные требования при использовании ГНСС-технологий. Точки должны быть закреплены в местах с благоприятными условиями для спутниковых наблюдений (т.е. вдали от высоких зданий и деревьев, металлических и других объектов, создающих мощные электрические поля). Поэтому спутниковые наблюдения шире применяются при мониторинге распластанных длинных объектов (береговые склоны, плотины и т.д.) [13].

Координаты положений на каждый момент времени при геодезическом мониторинге могут определяться различными методами спутниковых измерений (абсолютный и относительный). Для достижения максимальной точности шире используется статический режим наблюдений, который заключается в измерениях на неподвижной станции длительное время.

Применение ГНСС-технологий при геодезическом мониторинге имеет ряд преимуществ над альтернативными традиционными методами:

- непрерывный и долговременный характер наблюдений;
- выявление суточных и сезонных перемещений;
- определение истинных сдвигов и деформаций объекта;
- минимизация ошибок исполнителей в результате автоматизация измерений;
- отсутствие зависимости проведения измерений от погодных условий.

Однако имеются сдерживающие условия для повсеместного использования данного метода:

- недостаточная точность измерений для некоторых видов мониторинга;
- необходимость расположения исследуемых пунктов в местах с минимальными воздействиями факторов, которые мешают приему спутниковых сигналов;
- зарубежные и дорогостоящие программные продукты.

Глава 3. Методы определения координат с использованием ГНСС-технологий

В зависимости от уровня, целей и региона мониторинга применяют абсолютные и относительные (дифференциальные) методы определения координат. В первом случае координаты определяются по наблюдениям одного, отдельно работающего приемника. В другом случае наблюдения производят два или более совместно работающих приемника, при этом один установлен на опорном пункте, а второй - на определяемом пункте [2].

3.1. МЕТОД PPP – PRECISE POINT POSITIONING

Precise Point Positioning (PPP) – точное абсолютное позиционирование – это метод спутниковых наблюдений, при котором определяются координаты с точностью от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров в зависимости от продолжительности сеанса наблюдений с использованием единственного ГНСС-приемника в динамической и глобальной системе отсчета, такой как International Terrestrial Reference System (ITRS). Метод PPP отличается от метода позиционирования DGNSS, который использует поправки с одной или нескольких опорных станций с известными позициями. Метод PPP использует в вычислениях наблюдаемую фазу несущей, позволяя определять координаты с точностью доли длины волны (19 или 34 см). Он также использует точные эфемериды, созданные геодезическим сообществом - IGS, International GNSS Service – из измерений глобальной сетью станций слежения. В настоящее время распространение эфемерид через Интернет в режиме реального времени с низкой задержкой (например, APPS – автоматическое точное позиционирование службы NASA JPL) позволяет вычислять координаты, используя метод PPP в режиме реального времени [34].

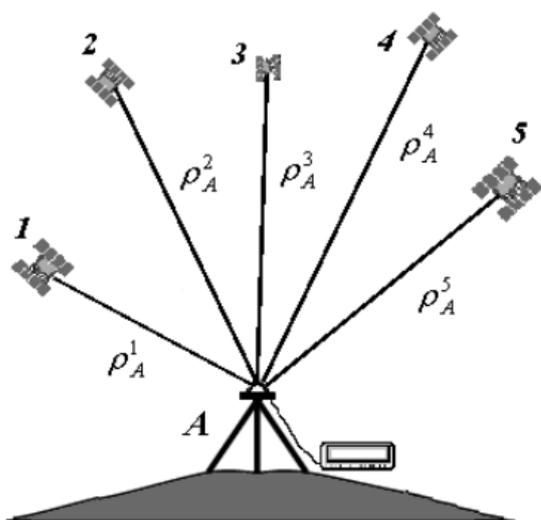


Рисунок 1. Абсолютный метод позиционирования

[2]

Основным параметром, по которому определяются координаты, является псевдодальность P , уравнение которой можно представить в виде [2]:

$$P_A^i = \rho_A^i + cdt_A - cdt^i + I_A^i + T_A^i + d_A + d^i + dm_A^i + e_A^i, \quad (2.1)$$

В формулах нижний индекс A относится к пункту наблюдений, а верхний индекс i – к спутнику, $i = 1, 2,$

..., s , где s – количество наблюдаемых спутников. В правой части этого выражения находятся: геометрическая дальность ρ_A^i , сдвиги шкал часов dt_A и dt^i (поправки часов), соответственно, для приемника и для спутника, ионосферная I_A^i и тропосферная T_A^i задержки, задержки сигналов в аппаратуре приемника d_A и спутника d^i , влияние многопутности dm_A^i и случайная ошибка измерений e_A^i (шум), c – скорость распространения радиоволн в вакууме.

В данном методе псевдодальность определяется по измерениям фазы несущего сигнала, упрощенно в математическом виде это будет выглядеть так [2]:

$$\Phi_A^i(t) + f^i dt^i(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^i(t) + N_A^i + f^i dt_A(t), \quad (2.2)$$

где $\Phi_A^i(t)$ – измеренная фаза несущей, выраженная в циклах; λ – длина волны; N_A^i – целочисленная неоднозначность фазы; $\rho_A^i(t)$ – геометрическая дальность, как и в модели для кодовых измерений. Через f^i обозначена частота сигнала спутника, а через $dt^i(t)$ и $dt_A(t)$ обозначены поправки часов, соответственно, для спутника и приемника.

Для вычисления с максимальной точностью необходимо использовать координаты спутников и поправки их часов не из навигационного сообщения, а из файлов точных эфемерид. Кроме того необходимо использовать точные модели тропосферной и ионосферной поправок. При этом, чем продолжительней наблюдения, тем лучшую точность можно получить.

Обработка спутниковых наблюдений методом PPP также требует ряда нетрадиционных поправок для исправления систематических ошибок, которые могут достигать нескольких сантиметров. В качестве примеров можно привести набег фазы или компонент фазовой поляризации (англоязычные термины carrier phase wind-up или carrier phase wrap-up). Этот эффект появляется из-за того, что наблюдаемая фаза несущей зависит от ориентации антенн передатчика и приемника, а также от направления линии визирования. При движении спутника (или наблюдателя) действие этого эффекта накапливается. Кроме этого важно учитывать смещение антенны, а также эффекты смещения координат станции из-за геодинамических процессов (твердотельных приливов земной поверхности и океанической нагрузки). Эти эффекты чаще всего не учитываются при традиционном в геодезии относительном методе позиционирования.

Таким образом, использование метода PPP требует выполнения ряда условий для достижения максимально точных результатов [34]:

- продолжительность сеанса спутниковых наблюдений на точке должна быть максимально длительной (минимальное время, необходимое для получения плавающего решения – 20 минут);
- необходимо использовать двухчастотные приемники, данные точных эфемерид спутников, а также данные для исправления результатов в связи с различными систематическими ошибками.

3.2. МЕТОД ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод относительных измерений заключается в определении координат неизвестной точки по отношению к известной, которая является стационарной (базовой). И соответственно определяются не абсолютные координаты точки, а вектор между точками, который называют вектором базовой линии или базовой линией.

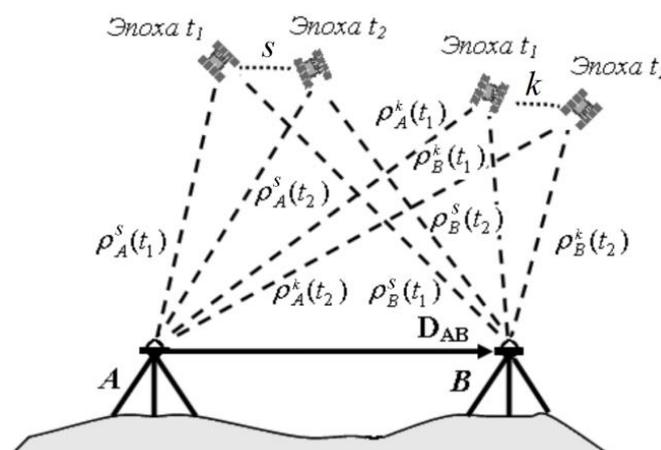


Рисунок 2. Относительный метод позиционирования [2]

Для позиционирования неизвестной точки необходимо одновременное наблюдение одних и тех же спутников на двух пунктах. Результаты таких наблюдений содержат в большинстве практически одинаковые погрешности. В таком случае разность этих результатов будет свободна от таких погрешностей. В связи с этим для повышения точности спутниковых наблюдений определяют не абсолютные координаты каждого пункта, а координаты одного пункта относительно другого (т.е. разности координат).

Относительный фазовый метод измерений является наиболее точным, в связи с этим чаще всего используется геодезистами. Поэтому в большинстве коммерческих геодезических программных обеспечениях реализован именно этот метод определения координат. Однако при таком определении необходимо использовать данные за длительное время для разрешения неоднозначности фазовых отсчетов.

В относительном методе используются [2]:

- Одиарные разности – это разности, образованные между одновременными измерениями с одной станции на два спутника или с

двух станций на один спутник (второй вариант предпочтительнее).

Уравнение имеет такой вид:

$$\Phi_{AB}^i(t) = \rho_{AB}^i(t) + \lambda N_{AB}^i + c(dt_B(t) - dt_A(t)), \quad (2.3)$$

В одинарной разности исключается влияние начальной фазы генератора спутника, поправки часов спутника, а также запаздывание в аппаратуре спутника. Кроме того, уменьшается влияние ионосферы и тропосферы, если базовые линии не очень протяженные.

- Двойные разности – это разности, образованные между одновременными измерениями с двух станций на два спутника. Уравнение имеет такой вид:

$$\Phi_{AB}^{ij}(t) = \rho_{AB}^{ij}(t) + \lambda N_{AB}^{ij}, \quad (2.4)$$

В двойной разности исключаются ошибки часов приемников, а также все ошибки, исключенные в одинарной разности.

- Тройные разности – это разности, образованные между измерениями с двух станций на два спутника в две эпохи. уравнение имеет такой вид:

$$\Phi_{AB}^{ij}(t_{12}) = \rho_{AB}^{ij}(t_{12}), \quad (2.5)$$

В тройной разности исключается целое число неоднозначностей фаз, а также все ошибки, исключенные в одинарной и двойной разностях.

Большинство геодезических программных обеспечений для постобработки используют эти три вида разностей.

Глава 4. Метод “Гусеница” – SSA

В результате обработки спутниковых измерений получаются временные ряды координат пункта. Поэтому для дальнейших исследований полученных местоположений можно использовать математический метод анализа временных рядов.

Метод “Гусеница” – Singular Spectrum Analysis (SSA) разрабатывался и в России, и за рубежом. В России этот метод исследуется в Санкт-Петербургском Государственном Университете Голяндиной Н.Э. и рядом других ученых [7,11].

Согласно теории [7] алгоритм данного метода можно разбить на четыре части:

- вложение;
- сингулярное разложение;
- группировка;
- диагональное усреднение.

Первые две части вместе называются разложением, а последние – восстановлением.

Рассмотрим вещественнозначный временной ряд $L_N = (l_0, \dots, l_{N-1})$ длины N , $N > 2$. Основным параметром алгоритма служит так называемая длина окна W , $1 < W < N$.

Первый этап заключается в разложении. Первый шаг, вложение, состоит в формировании из ряда траекторной матрицы X размером $W \times K$, $K = N - W + 1$, следующим образом. Будем последовательно брать из ряда отрезки длины W и составим из них траекторную матрицу $X = [X_1 : \dots : X_K]$, где $X_j = (l_{j-1}, \dots, l_{j+W-2})^T$, $j=1, \dots, K$.

Далее проводится сингулярное разложение (SVD - Singular Value Decomposition) траекторной матрицы X :

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_d, \quad X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T, \quad (3.1)$$

где $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_d > 0$ – упорядоченные ненулевые собственные числа матрицы XX^T , $\{U_i\}_{i=1}^d : U_i \in \mathbf{R}^L$ – соответствующие им собственные вектора, а $\{V_i\}_{i=1}^d : V_i = \lambda_i^{-1/2} X^T U_i \in \mathbf{R}^K$ будем называть факторными векторами. Собственный и факторный вектора называют сингулярными векторами, а набор $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$ – собственной тройкой сингулярного разложения.

Второй этап – это восстановление. В третьем шаге проводится группировка компонент разложения. Разбив множество индексов $\{1, \dots, d\}$ на m непересекающихся подмножеств I_j , получим

$$X = X_{I_1} + X_{I_2} + \dots + X_{I_m}, \quad X_{I_j} = \sum_{k \in I_j} X_k. \quad (3.2)$$

Последним шагом является восстановление рядов $L_N^{(j)}$ по сгруппированным матрицам X_{I_j} . Элемент ряда $l_n^{(j)}$ получается с помощью усреднения вдоль антидиагонали элементов матрицы X_{I_j} с индексами a и b такими, что $a+b=n+2$. Таким образом, получаем разбиение ряда

$$L_N = L_N^{(1)} + \dots + L_N^{(m)}. \quad (3.3)$$

Данный алгоритм был реализован в программном комплексе MathCAD 15.

Разберем работу алгоритма. Длину окна W возьмем равной половине длины ряда. Ниже приведен фрагмент ряда данных после центрирования – L и фрагмент траекторной матрицы – X .

L=

-0.003
-0.005
0.015
-0.004
-0.007
-0.015
0.010
0.006
0.024
-0.011
-0.008
0.002
0.001
-0.019
-0.006

X=

-0.003	-0.005	0.015	-0.004	-0.007	-0.015	0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006
-0.005	0.015	-0.004	-0.007	-0.015	0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011
0.015	-0.004	-0.007	-0.015	0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005
-0.004	-0.007	-0.015	0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024
-0.007	-0.015	0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011
-0.015	0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000
0.010	0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024
0.006	0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026
0.024	-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020
-0.011	-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020	-0.018
-0.008	0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020	-0.018	-0.002
0.002	0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020	-0.018	-0.002	0.002
0.001	-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020	-0.018	-0.002	0.002	-0.002
-0.019	-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020	-0.018	-0.002	0.002	-0.002	-0.021
-0.006	0.011	0.005	-0.024	0.011	0.000	0.024	0.026	-0.020	-0.018	-0.002	0.002	-0.002	-0.021	0.025

Затем необходимо вычислить вектор собственных чисел λ и матрицы собственных U и факторных V векторов. При взятой длине окна матрицы U и V будут равны.

Далее по формуле (3.1) вычисляем элементы сингулярного разложения. Теперь необходимо произвести группировку компонент разложения. Эта процедура основана на анализе собственных чисел и сингулярных векторов U и V . Ниже мы рассмотрим эту процедуру подробно, а в данном случае сгруппируем компоненты следующим образом: 1-2, 3-4, 5-1000. В результате получим три матрицы, по которым путем усреднения по антидиагоналям, восстанавливаем три компоненты ряда.

L1=	-0.0027		0.0060		-0.0060
	-0.0039		0.0051		-0.0060
	-0.0031		0.0037		0.0146
	0.0000		0.0018		-0.0055
	0.0034		0.0004		-0.0105
	0.0047		-0.0010		-0.0184
	0.0035		-0.0025		0.0093
	0.0002	L2=	-0.0038		0.0098
	-0.0035		-0.0047		0.0324
	-0.0052		-0.0059		0.0003
	-0.0036		-0.0065		0.0023
	0.0001		-0.0060		0.0081
	0.0037		-0.0052		0.0028
	0.0050		-0.0040		-0.0197
	0.0031		-0.0020		-0.0068

На графике (Рисунок 3) представлен вид этих компонент.

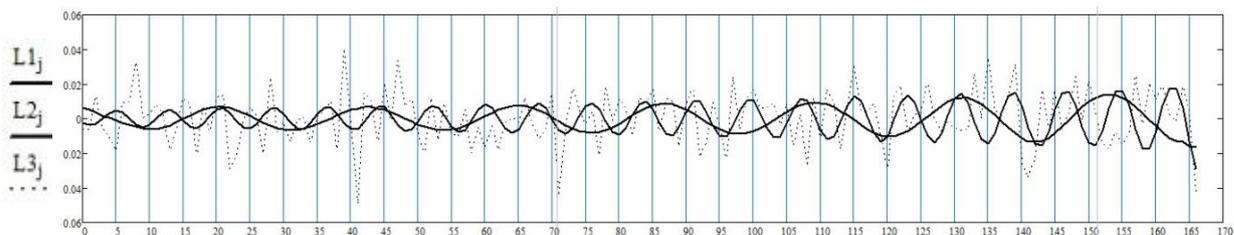


Рисунок 3. График компонент ряда L1, L2, L3

Первая и вторая компоненты (L1 и L2) отражают периодические составляющие в перемещениях объекта, а третья (L3) – выделенный «белый шум». Так как элементы этих рядов получаются путем усреднения по антидиагоналям, то наиболее достоверными являются центральные части этих рядов, которые соответствуют самым длинным антидиагоналям.

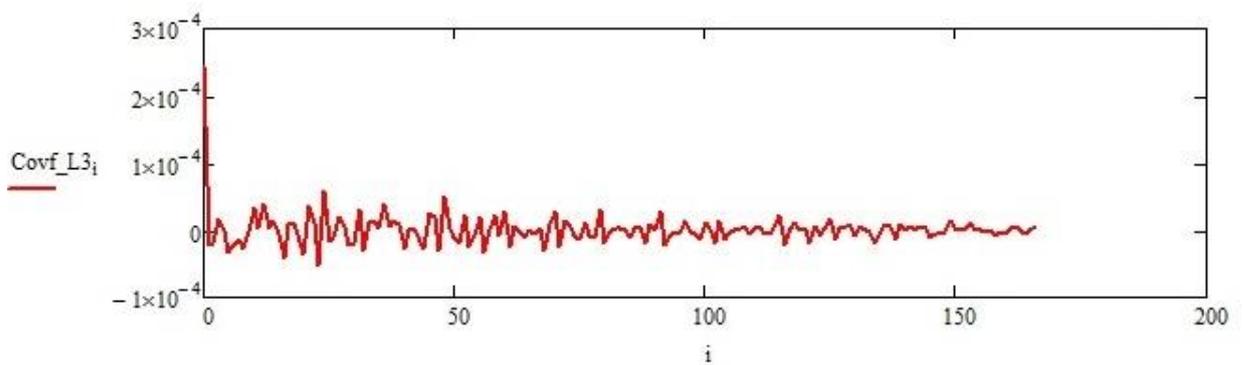


Рисунок 4. График ковариационной функции

Так как ковариационная функция имеет затухающий вид (Рисунок 4), то согласно теории, описанной в [7], выделенный шум считается слабо коррелированным и близким к “белому”. Согласно исследованиям, произведенными Горшковым В.Л. [9], шум спутниковых измерений не всегда является “белым”, но близким к нему. В связи с этим в данной работе дополнительного исследования шума не производится, при этом метод SSA может быть использован для анализа временных рядов полученных координат.

В алгоритме имеется два параметра, выбор которых влияет на анализ ряда. Первый – это длина окна W , второй параметр является структурным – это способ группировки компонент сингулярного разложения.

Длина окна является основным параметром алгоритма SSA. Выбор этого параметра зависит от решаемой задачи и предварительной информации о ряде. Согласно теории, описанной в [7], существует несколько основных принципов для выбора длины окна.

- Сингулярные разложения траекторных матриц одного и того же ряда длины N , соответствующие выбору длины окна W и $N-W+1$ эквивалентны (с точностью до симметрии: левые сингулярные векторы – правые сингулярные векторы). Следовательно, для анализа структуры временного ряда базовым методом SSA не имеет смысла брать длину окна, большую чем половина длины ряда.
- С учетом предыдущего замечания, чем больше длина окна, тем более детальным получается разложение исходного ряда. Таким образом, наиболее детальное разложение достигается при выборе длины окна, приблизительно равной половине длины ряда.

При анализе временных рядов координат объекта в целях исследования его движений важной задачей является выделение периодических компонент. Для этого необходимо следовать еще нескольким принципам согласно [7].

- При решении задачи выделения периодической компоненты с периодом T необходимо измерять длину ряда N и длину окна W в числе периодов. Чтобы достичь разделения, длина ряда должна быть, как правило, порядка нескольких периодов.

- Для относительно коротких рядов, предпочтительно учитывать условия для точной делимости. Если известно, что временной ряд имеет периодическую компоненту с известным периодом T , то предпочтительно взять длину окна W пропорциональной величине этого периода.

- В случае длинных рядов требование, чтобы L/T было целым, не столь важно. В этом случае можно рекомендовать брать длину окна как можно больше, то есть максимально близкой к $N/2$.

Согласно перечисленным принципам и учитывая, что в ряду данных может присутствовать несколько периодов, приходим к выводу, что в большинстве случаев длину окна нужно задавать близкой к половине длины ряда, по крайней мере, в первом приближении [25].

Самым неформализуемым шагом является шаг группировки. Вся информация о каждой из компонент X_i содержится в собственном числе λ_i , а также в U_i и факторном V_i векторах. Поиск компонент для требуемой группировки проводится, главным образом, на основе анализа собственных троек. Прежде всего, необходимо обратить внимание на столбец собственных чисел λ . Чем больше сингулярное значение в собственной тройке, тем больше вклад соответствующей восстановленной компоненты ряда. Собственное число можно рассматривать в качестве характеристики этого вклада.

Существует такое правило [7]: если мы восстановили компоненту ряда только с помощью одной собственной тройки и оба сингулярных вектора имеют похожую форму, то восстановленная компонента будет иметь примерно такую же форму. Это правило означает, что, имея дело с единственной собственной тройкой, часто можно предсказать поведение соответствующей компоненты временного ряда. Например, если оба сингулярных вектора собственной тройки похожи на линейные ряды, то соответствующая составляющая ряда также будет близкой к линейной. Если сингулярные векторы имеют экспоненциальную форму, то и компонента ряда будет такой же. Монотонные сингулярные векторы соответствуют монотонной компоненте ряда. Синусоидальные векторы порождают гармоническую составляющую ряда.

Периодической компоненте обычно соответствуют две собственные тройки сингулярного разложения, собственные числа в которых близки по значению. Искать относящиеся к таким компонентам пары собственных троек удобно на двумерных диаграммах. В идеальной ситуации собственные векторы это косинус и синус с периодом T и с одной и той же амплитудой и фазой. То же самое верно и для факторных векторов. Двумерное изображение двух таких собственных векторов создаст точки, лежащие на окружности. В реальности точки могут располагаться как по линии близкой окружности, так и по спирали. Для нашего примера, график имеет вид, представленный на Рисунке 5.

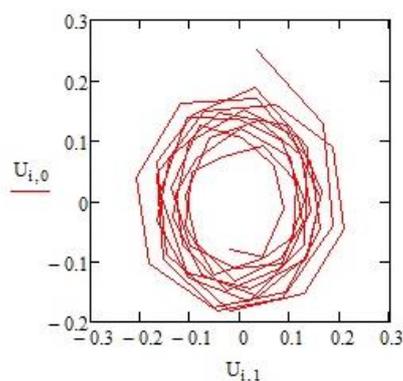


Рисунок 5. График двумерного изображения собственных векторов U

С практической точки зрения, естественный путь выделения шумовой составляющей ряда - это отнесение к нему тех собственных троек, которые не содержат ни тренда, ни колебаний. Однако, поступая таким образом, нужно обратить внимание на следующие моменты [7].

- Если диапазон частот шума включает в себя частоту гармонической компоненты сигнала, то гармоническая компонента, восстановленная по соответствующим собственным тройкам сингулярного разложения, будет содержать также часть шума, соответствующую этой частоте. Аналогично, выделенный тренд захватывает низкочастотную часть шума. Если частотные диапазоны сигнала и шума не пересекаются, то такой эффект не возникает.

- Если амплитуда гармонической компоненты сигнала мала, а шум большой, то собственные числа, соответствующие этой гармонике и шуму, могут быть близки друг к другу. Поэтому может оказаться невозможным отделить гармонику от шума на основе анализа собственных троек для всего ряда. Этот эффект исчезает асимптотически при $N \rightarrow \infty$.

- Сингулярное разложение траекторной матрицы чистого шума при больших N и W скорее всего будет содержать, по крайней мере, несколько первых собственных троек, похожих на порожденные гармониками. Компоненты исходного ряда, восстановленные на их основе, также выглядят похожими на гармоники (обычно сильно модулированные). А поэтому нужны тщательный контроль и осторожность при интерпретации восстановленных компонент.

В общем, можно сказать, что метод SSA является удобным инструментом для разделения временных рядов на различные аддитивные составляющие. Неоспоримым преимуществом метода является отсутствие предварительного знания структуры временного ряда. Однако в связи с этим трудно верно определить процедуру группировки компонент сингулярного разложения. Более того, анализ реальных временных рядов этим методом не объясняет полученные периодические составляющие, и в дальнейшем требуется выявление причин непосредственно в каждом отдельном случае, исходя из периода каждой составляющей.

Глава 5. Исследование сети постоянно действующих базовых станций на территории г. Санкт-Петербурга

В данной работе исследование методов геодезического мониторинга проводилось на примере двух сетей постоянно действующих базовых станций на территории г. Санкт-Петербурга:

- сеть Комитета по градостроительству и архитектуре г. Санкт-Петербурга (сеть РС СПб);
- сеть Санкт-Петербургского государственного университета (сеть РС СПбГУ).

Каждая сеть состоит из нескольких постоянно действующих станций, местоположение которых определено с высокой точностью с помощью ГНСС-технологий. Все станции расположены в местах с минимальными воздействиями факторов, которые мешают приему спутниковых сигналов (радиопомехи, экранирование, наличие отражающих объектов). Наблюдения на станциях каждой сети ведутся непрерывно.

Пункты сети РС СПб были закреплены специальными центрами на крышах зданий в период с 2010 по 2013 гг. Всего сеть состоит из 10 пунктов, на каждом из которых установлены приемник Leica GR10, антенна Leica AR25 (тип Choke Ring), управление происходит с помощью программного обеспечения Leica (Швейцария) в СПб ГКУ ЦИОГД. Определение координат пунктов производилось по результатам трехсуточных измерений сети в период с 22.05.2013 г. по 24.05.2013 г., используя международную сеть IGS (пункты SVTL, ZWE2, RIGA, JOEN, MOBN, MDVJ) [41].

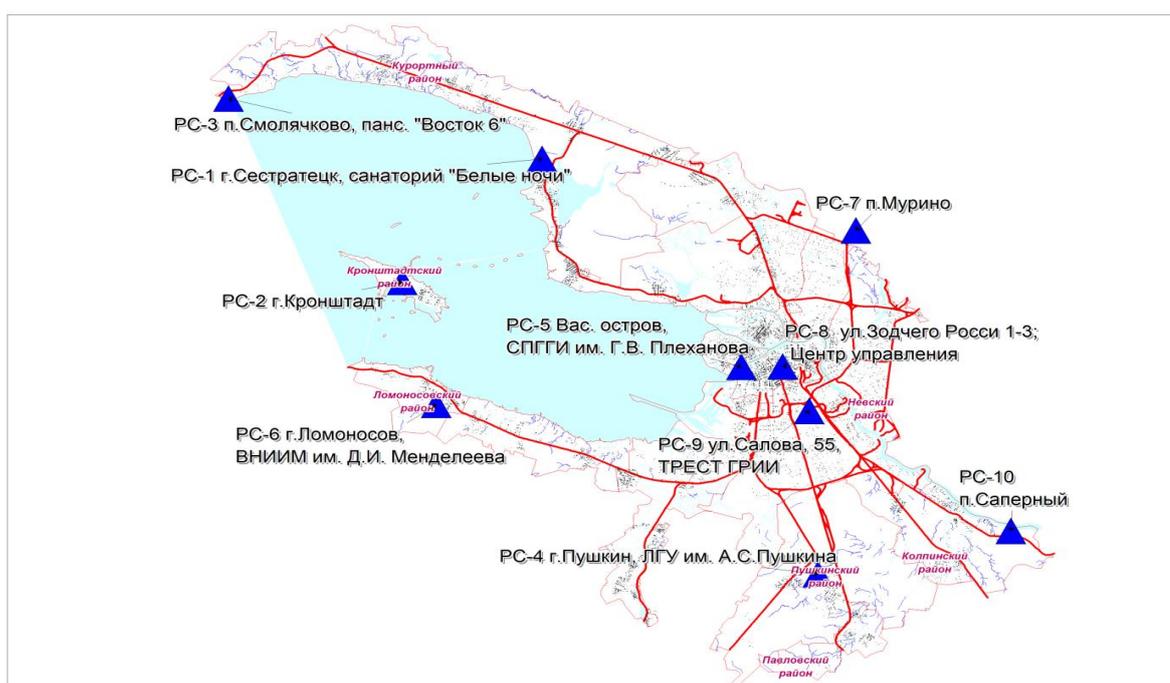


Рисунок 6. Схема расположения станций РС СПб [19]

Обработка результатов производилась в два этапа:

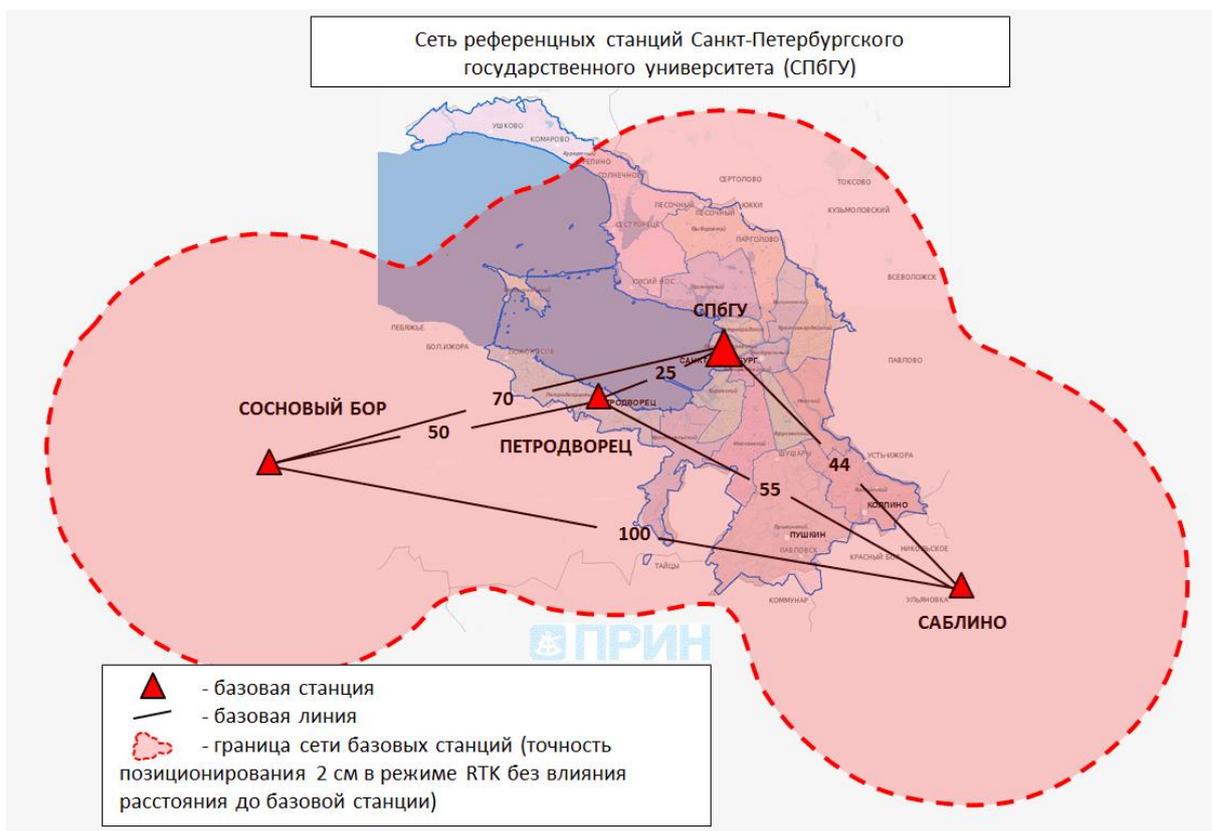
- сначала производилось уравнивание с фиксированием в геоцентрической системе координат;
- затем производился параллельный перенос свободной сети, добиваясь наименьших невязок относительно пунктов IGS.

Полученные невязки координат пунктов не превышали 3 мм в плане и 7 мм по высоте. Пространственные прямоугольные (декартовы) координаты X, Y, Z пунктов РС СПб определены в геоцентрической Международной системе координат ITRF-2008 на эпоху 23.05.2013 г. Такая система координат принята к качеству пространственной местной системы координат г. Санкт-Петербург (ПМСК), а сеть РС СПб закрепляет ее на территорию города и близлежащую территорию, с помощью каркасной сети СГГС-1 связывая с единой государственной системой координат СК-95. Для контроля результатов использовался метод PPP.

Все работы по разработке и развитию сети выполнены в порядке, установленном действующими законодательными и нормативными актами РФ, в соответствии с требованиями нормативных документов. Вся техническая документация о выполненных работах передана в геолого-геодезический отдел КГА СПб и федеральный картографо-геодезический фонд Управления Росреестра по Санкт-Петербургу.

Пункты сети РС СПбГУ были закреплены в декабре 2011 г. по контракту между СПбГУ и ЗАО "ПРИН". Сеть была разработана и создана для выполнения учебных и научно-исследовательских работ. На каждом пункте установлен приемник Trimble NetR9, антенна Choke Ring и метеостанция Vaisala. Управление сети производится с помощью программного обеспечения Trimble VRS3Net. Сеть состоит из четырех пунктов в Петергофе (на здании НИИ Биологии СПбГУ), Саблино, на Васильевском Острове (на здании Института Наук о Земле СПбГУ) и в Сосновом Бору [40].

Определение координат производилось на основе наблюдений за 4 полных дня (20, 25, 30 апреля и 1 мая 2012 года). В качестве исходных пунктов были взяты пункты международной сети IGS: GLSV, KIRU, METS, MOBN, RIGA, SVTL.



Полученные невязки координат пунктов не превышали 8 мм в плане и 13 мм по высоте. Пространственные прямоугольные (декартовы) координаты X , Y , Z пунктов определены в геоцентрической Международной системе координат ITRF-2005 на эпоху: Ref. Epoch 2012.5260.

5.1. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первоначальным этапом исследования была подготовка исходных данных для дальнейшей обработки.

За исходные данные были приняты часовые RINEX-файлы за 2014-2015 года с каждой станции исследуемых сетей. Для анализа в дальнейшем суточной динамики положений станций использовались часовые файлы. Для анализа сезонной динамики положений станций необходимо было объединить часовые файлы в суточные. Данные преобразования производились с помощью программного обеспечения Topcon Tools.

Для обработки спутниковых наблюдений на станциях сетей с помощью относительного метода необходимо было выбрать постоянно действующие станции международной сети IGS. Было проанализировано восемь станций: JOEN, KIRU, MDVJ, METS, MOBN, RIGA, SVTL, ZWE2. В результате для обработки выбрана станция SVTL, так как с остальными станциями получаются слишком длинные базовые

линии, что дает недостаточную точность для геодезического мониторинга. Более того, эта станция имеет минимальное количество пропусков в данных и соответственно самая стабильная для обработки. Наблюдения с международных станций можно получить в виде суточных RINEX-файлов с сервера SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center, <http://sopac.ucsd.edu/>). SOPAC является глобальным центром данных Международной службы ГНСС IGS с момента ее создания. Сервер занимается обработкой и архивированием данных ГНСС для изучения сейсмической активности, движения литосферных плит, метеорологии и других задач. Данные наблюдений со станции SVTL (радиоастрономическая обсерватории «Светлое» в Приозерском районе Ленинградской области) были получены на тот же период, что и данные с исследуемых сетей (2014-2015 года).

5.2. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Полученные из архивов сетей постоянно действующих станций данные были обработаны в программном обеспечении Trimble Business Center. Данные обрабатывались отдельно в разных проектах для часовых и суточных RINEX-файлов каждой сети. Помимо исходных наблюдений были загружены в проект финальные эфемериды и метеорологические данные, скачанные с международного сервера CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System NASA, <https://cddis.nasa.gov/>).

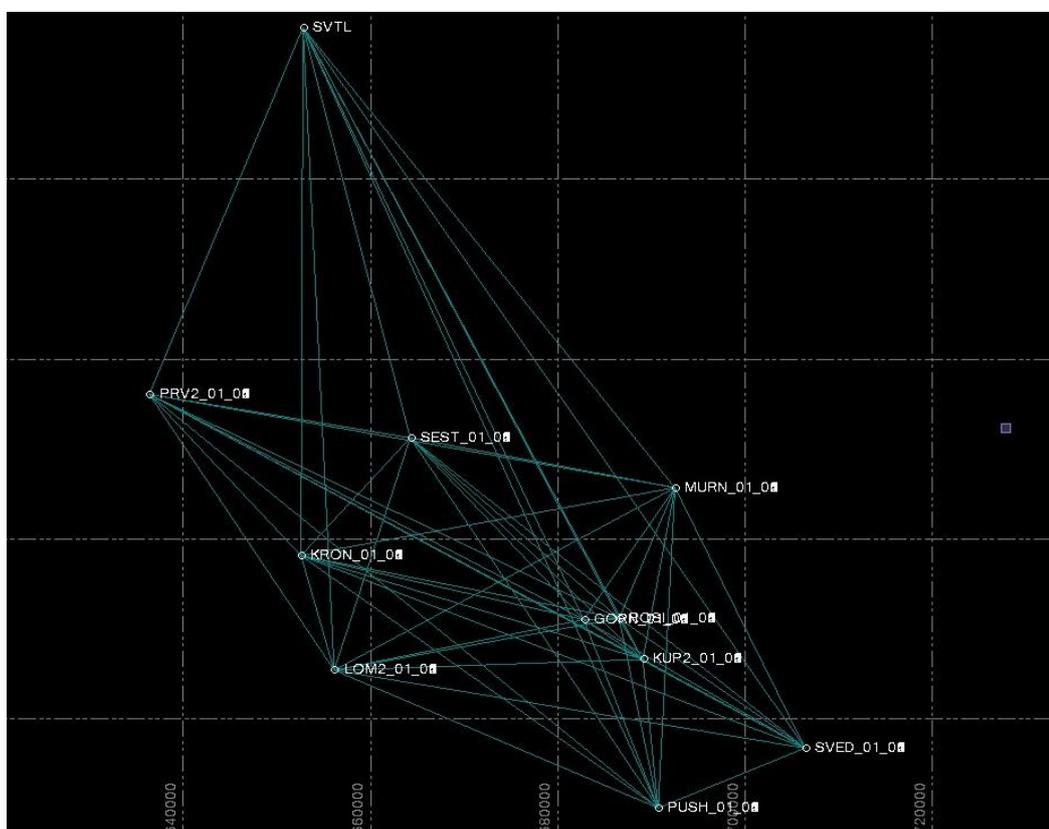


Рисунок 8. Обработка относительным методом в ПО Trimble Business Center сети РС СПб

Обработка выполнялась отдельно по спутникам системы GPS и ГЛОНАСС и совместно. В результате обработки было решено использовать совместную обработку для достижения лучшей точности решения.

В результате обработки базовых линий были составлены отчеты. Получены временные ряды из списка координат точек и списка приращений в плане и по высоте. Данные отчеты были экспортированы в Excel для дальнейшего анализа перемещений станций. Пример получаемых отчетов представлен в Приложении А.

5.3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ МЕТОДОМ PPP

Параллельно с обработкой относительным методом производилась обработка с помощью метода PPP. Так как в рамках данной работы не было возможности провести обработку с помощью научных программных комплексов (таких как Bernese, GAMIT/GLOBK, GIPSY-OASIS II), а коммерческое обеспечение Trimble Business Center не позволяет производить обработку абсолютным методом, то было принято решение использовать открытый online-сервер CSRS-PPP (Управление природными ресурсами Правительства Канады).

На сервер были загружены часовые и суточные RINEX-файлы, выбрана обработка с помощью финальных эфемерид. В результате были получены решения в виде, представленном в Приложении В. При данной обработке получаются не вектора, а только конечные абсолютные координаты.

Все полученные решения для каждого RINEX-файла были записаны во временной ряд в Excel для дальнейшего анализа перемещений станций.

5.4. ОБРАБОТКА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ SSA

Полученные временные ряды координат каждого пункта постоянно действующих сетей в формате .xlsx обрабатывались в дальнейшем с помощью алгоритма, реализованного в программном обеспечении MathCAD 15. В результате обработки для каждого временного ряда получаем составляющие компоненты, при этом могут выделиться различные составляющие:

- тренд;
- периодические составляющие различных периодов;
- оставшийся шум.

Для получения максимально полных результатов в процессе обработки использовались различные параметры, описанные в главе 4 (длина окна W и способ

группировки компонент сингулярного разложения). Но в итоге выбор параметров был сделан согласно выводам, приведенным в главе 4.

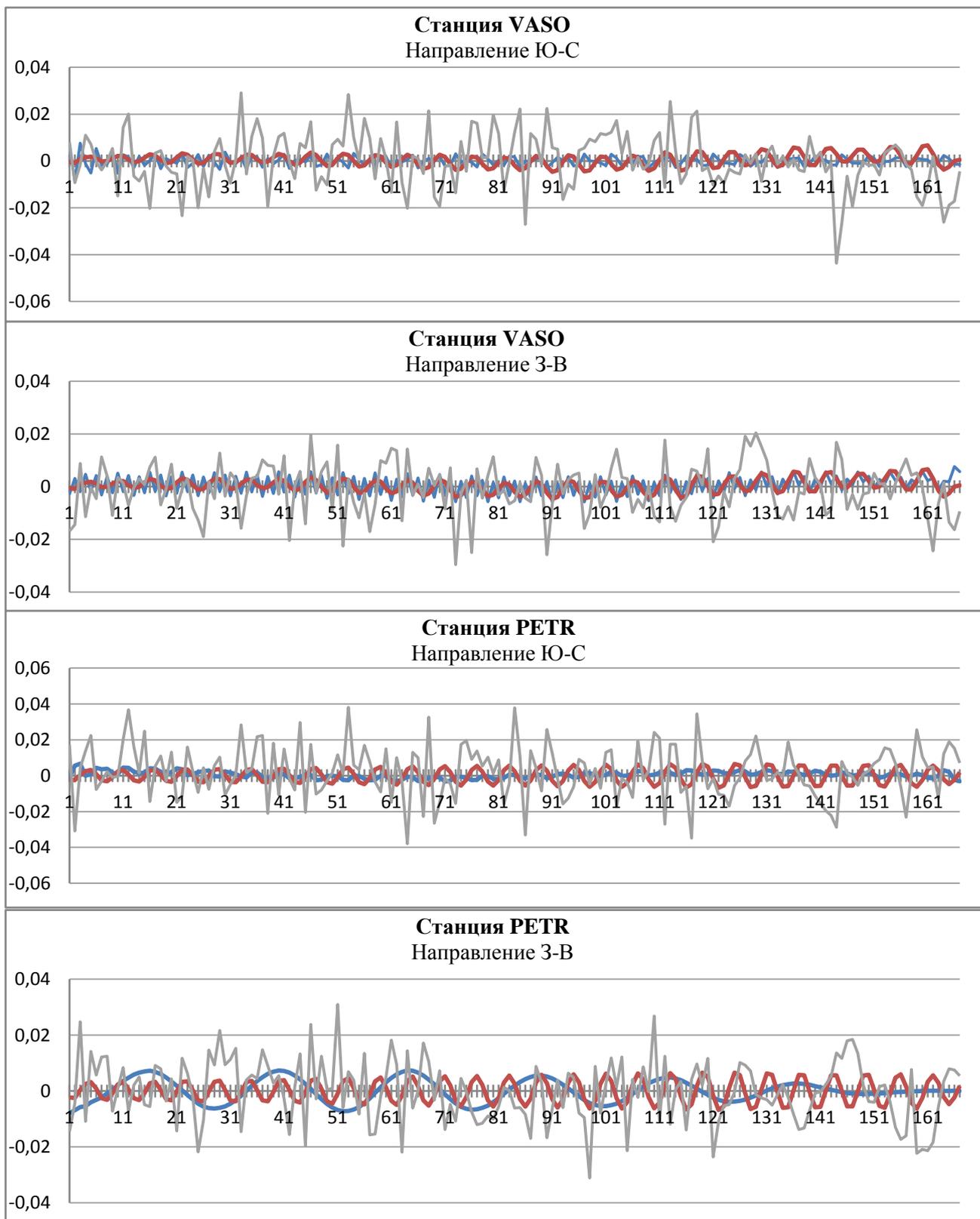


Рисунок 9. Примеры суточных периодических перемещений станций VASO и PETR (период наблюдений 7 полных суток в апреле 2014 года)

Составляющие компоненты временных рядов, полученных двумя способами определения координат, для различных станций выделились отличные друг от друга. Однако имеются общие тенденции:

- Были выделены суточные периодические составляющие в перемещениях в плане с периодами 6 и 24 часа, при этом данная периодика присутствует в координатах, определенных и абсолютным, и относительным методом.
- Были выделены составляющие с периодом 8 и 12 часов в перемещениях в плане в координатах, определенных абсолютным методом PPP.
- Были выделены суточные периодические составляющие в перемещениях по высоте с периодами 12 и 24 часа в координатах, определенных и абсолютным, и относительным методом.
- Была выделена составляющая с периодом 8 часов в перемещениях по высоте в координатах, определенных абсолютным методом PPP.
- Были выделены сезонные периодические составляющие в перемещениях в координатах с периодами 2, 6 и 12 месяцев.

Таблица 1. Суточные периодические движения станций постоянно действующих сетей г. Санкт-Петербург

Суточные периодические движения в плане:		
Период, часов	Trimble Business Center	NRCan
6	GORN, LOM2, SEST	ROSI, PETR, VASO
8	-	KRON, KUP2, MURN, PRV2
12	-	GORN, KRON
24	GORN, KRON, KUP2, LOM2, PRV2, SVED	PETR, SABL, SBOR
нет	MURN, PUSH, ROSI	LOM2, PUSH, SEST, SVED
Суточные периодические движения по высоте:		
Период, часов	Trimble Business Center	NRCan
8	-	GORN, MURN, PUSH, SEST
12	KRON, MURN, PRV2, ROSI, SEST	KUP2, ROSI
24	GORN, PUSH, SEST	GORN, KRON, KUP2, LOM2, ROSI, VASO
нет	KUP2, LOM2, SVED	PRV2, SVED, PETR, SABL, SBOR

5.5. ПРИЧИНЫ ТРЕНДА И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ СТАНЦИЙ

В результате исследований постоянно действующих сетей были выявлены движения станций, заключающиеся в постоянном тренде и периодических перемещениях.

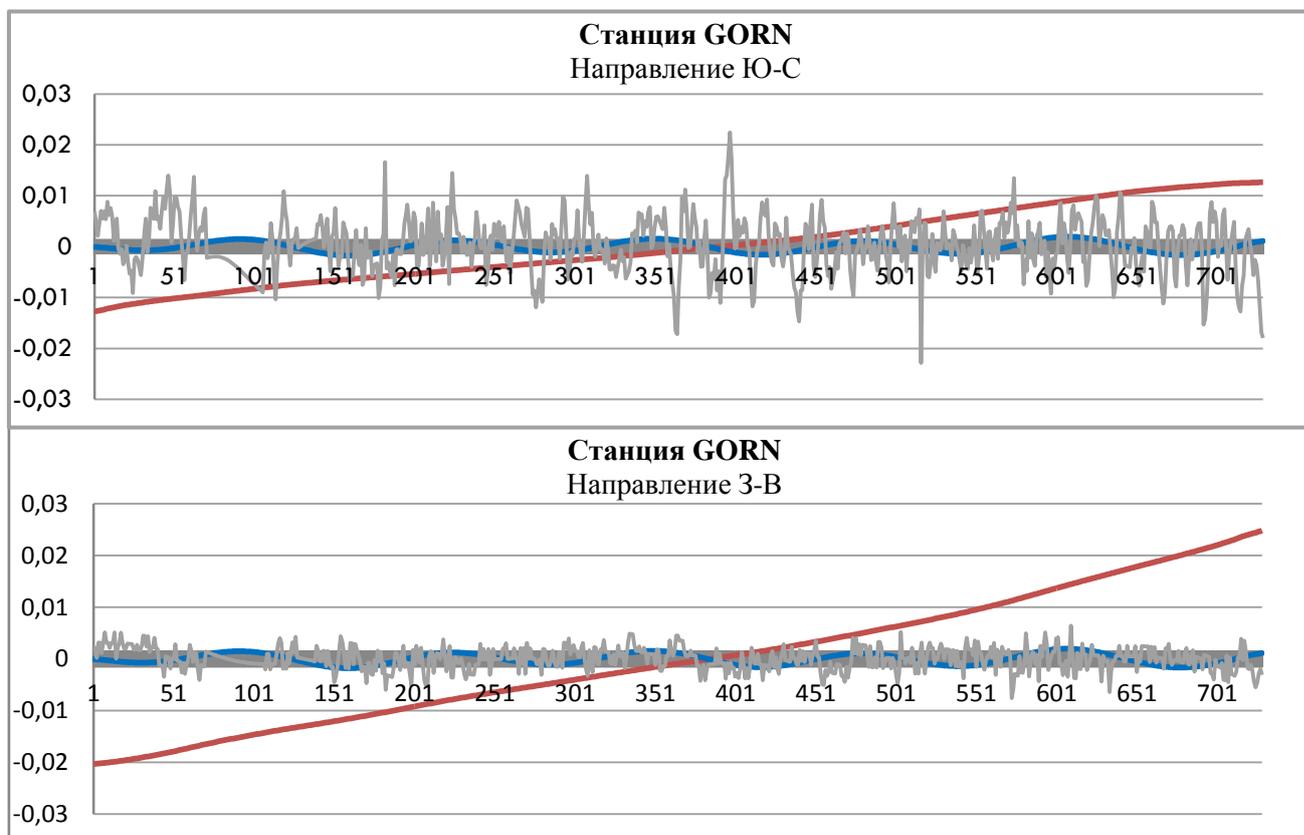


Рисунок 10. Тренд и периодические движения станции GORN за период 2014-2015 гг.

При этом выявить постоянный тренд в движении, вызванный движением литосферной плиты можно только с помощью обработки наблюдений методом PPP. При обработке относительным методом это движение невозможно определить, так как международная закрепленная станция SVTL находится на той же литосферной плите, и ее местоположение тоже изменяется согласно общей скорости движения плиты.

Полученный тренд для станций в данной работе соответствует данным, полученным с международного сервиса Plate Motion Calculator (<https://www.unavco.org>). Согласно данным международного сервиса, скорость движения Евроазиатской литосферной плиты в исследуемых точках 13,87 мм в год в северном направлении и 21,05 мм в год в восточном направлении. По результатам, полученным в данном исследовании, движение станции GORN составляет 12,3 мм в год в северном направлении и 20,7 мм в год в восточном направлении. Таким образом, движение станции редуцированное за движение Евроазиатской плиты составляет 1,6 мм в год в южном направлении и 0,3 мм в год в западном направлении.

Полученные результаты подтверждают предыдущие исследования на территории Балтийского региона, выполненные Пулковской астрономической обсерваторией РАН, о том, что отдельные части литосферной плиты локально двигаются относительно друг друга [10]. Согласно их исследованиям средняя скорость для станций, расположенных в г. Санкт-Петербург 0,7 мм в год в южном направлении и 0,4 мм в год в западном направлении.

Таблица 2. Сравнение результатов с предыдущими исследованиями

	Скорость движения в направлении Юг-Север, мм в год	Скорость движения в направлении Запад-Восток, мм в год
Движение ЕА плиты по данным международных организаций	+ 13,9	+ 21,0
Абсолютное движение станции GORN	+ 12,3	+ 20,7
Движение станции GORN редуцированное за движение ЕА плиты	- 1,6	- 0,3
Среднее движение станций по исследованиям Пулковской обсерватории	- 0,7	- 0,4

Тренд в вертикальном движении станции выделился положительный (0,2 мм в год), что подтверждает факт общего поднятия Балтийского региона [29].

При получении координат станций относительным методом позиционирования можно определить только тренд в движении станции относительно закрепленной международной станции SVTL. В результате были определены относительные скорости: 0,8 мм в год в северном направлении и 1,0 мм в год в западном направлении. Вычисленные средние скорости для станций г. Санкт-Петербург относительно движения станции SVTL, определенные в исследовании Пулковской обсерватории, составляют 0,2 мм в год в северном направлении и 0,8 мм в год в западном направлении. Полученные в результате данной работы относительные скорости имеют соответствующие направления и близки по модулю.

Кроме выделения тренда во временном ряду за два года имеются сезонные периодические составляющие с периодом 2, 6 и 12 месяцев. Данные периодические составляющие были выявлены и в предыдущих исследованиях Пулковской обсерватории. Данная периодика положений станций обусловлена, главным образом, сезонными вариациями атмосферных и гидрологических нагрузок, достигающих 3 мм в плановом положении и 2 см в вертикальной составляющей [9, 35].

Однако атмосферные, приливные и гидрологические нагрузки обуславливают не только сезонную периодику, но и суточные вариации. Согласно моделям [38, 39] движения станций имеют суточные периодические составляющие с периодом 6, 8, 12, 24 часа, что может объяснять выделенную в данных исследованиях периодику.

Модель International Mass Loading Service (<http://massloading.net/>) включает в себя:

1. атмосферные вариации, которые приводят к изменению давления;
2. вариации уровня океана в результате лунных и солнечных приливов;
3. вариации уровня океана из-за ветра и атмосферного давления;
4. вариации влажности почвы, гидрологические нагрузки.

Эти четыре нагрузки должны учитываться при обработке геодезических данных пространства, когда требуется точность более 1 см. Данная модель включает в себя вариации с периодами 6, 8, 12, 24 часа, полгода и год.

Океанические приливные нагрузки можно учитывать, используя модели M.S. Vos и H.-G. Scherneck. (<http://holt.oso.chalmers.se/loading/index.html>). Поскольку Земля не является полностью жесткой, она деформируется под нагрузкой от океанических приливов. Эти эффекты можно наблюдать как вариации на вашей станции в вертикальном и горизонтальном смещении. Приливы океана происходят из-за гравитационного притяжения Луны и Солнца. Поскольку их орбиты имеют более чем одну периодичность из-за эксцентриситета и отклонения, океанские приливы можно описать как сумму нескольких составляющих, каждая из которых имеет свой собственный период. В данной модели используется одиннадцать периодов, которые также называются гармониками с наибольшей амплитудой.

Существуют и другие компьютерные программы для расчета нагрузки. Например, GOTIC2 Koji Matsumoto, Национальная астрономическая обсерватория, Мизусава, Япония и SPOTL Duncan Agnew, Институт океанографии Скриппса, Ла-Холла, Калифорния.

Таким образом, можно сделать вывод, что все пространственные объекты движутся со временем, при этом в их движении можно выделить тренд и периодические составляющие. Данную периодику частично можно смоделировать с помощью существующих сервисов, предоставляющих данные по атмосферным, океаническим и гидрологическим нагрузкам. Однако в силу расположения объектов в местах с различными атмосферными и гидрологическими условиями объяснение движений в каждом конкретном случае требует дополнительных исследований.

Исследование трендов и периодических составляющих крайне важно при геодезическом мониторинге, так как позволяет различать перемещения, связанные с естественными процессами, и перемещения, вызванные негативными процессами, которые могут привести к аварийным ситуациям. Кроме того, изменение в поведении объекта (изменение скорости тренда и периодических движений) может также свидетельствовать о каких-либо негативных процессах, появившихся в состоянии объекта. При этом в случае своевременного обнаружения данных изменений в поведении объекта существует возможность остановить их и предотвратить аварийные ситуации.

Заключение.

В ходе выполнения данной работы были изучены существующие методы геодезического мониторинга с использованием ГНСС-технологий. При этом рассмотрены основные методы обработки спутниковых измерений (в том числе метод PPP). Особое внимание уделено методу обработки временных рядов SSA, с помощью которого был разработан алгоритм для анализа рядов координат исследуемых станций. Для исследования были использованы архивные данные сетей базовых станций на территории г. Санкт-Петербург (РС СПб и РС СПбГУ). С помощью разработанных алгоритмов анализа перемещений станций были выявлены тренды движений, сезонные и суточные периодические движения станций. Полученные результаты сопоставимы с уже проведенными исследованиями отдела геодинамики Пулковской астрономической обсерватории РАН на территории г. Санкт-Петербург. Кроме того, новизна данного исследования заключается в более подробном исследовании суточной периодики в движениях станций.

В работе приведено полное описание полученных результатов, графики движений исследуемых станций.

Дальнейшее направление развитие работы может вестись в двух направлениях. С теоретической точки зрения необходимо исследовать возможные причины суточных и сезонных перемещений различной периодики для каждой отдельной станции. Для этого необходимо исследовать атмосферные, гидрологические и прочие условия мест, в которых расположены станции. С практической точки зрения необходимо провести исследования по более продолжительному временному ряду, что может привести к подтверждению уже полученных результатов, либо к выявлению еще неисследованных перемещений.

Список литературы.

1. Азаров Б.Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений // Ползуновский вестник, 2011. № 1. С. 19-29.
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: в 2 т. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006, 360 с.
3. Антонович К.М., Карпик А.П., Клепиков А.Н. Спутниковый мониторинг земной поверхности // Геодезия и картография, 2004. № 1. С. 4-11.
4. Басманов А.В. Результаты геодезического мониторинга геодинамических полигонов Росреестра на основе измерений 2015 года // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр.: 18-22 апреля 2016 г., Новосибирск : Пленарное заседание : сб. материалов. – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 9-15.
5. Большой энциклопедический словарь : А-Я / Гл. ред. Прохоров А.М. - 2-е изд., перераб. и доп. М.;СПб: БСЭ, 2000, 1452 с.
6. Гаврилов С.Г., Шаров К.В., Ананьева А.Г., Ефремова И.Б., Крюков Е.Ю. Туркевич О.Ю. Система дистанционного мониторинга деформационных процессов Дворца спорта «Мегаспорт» // Геопрофи, 2015. № 2. С. 49-53.
7. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»–SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб, 2004, 76 с.
8. Горшков В.Л., Смирнов С.С., Щербакова Н.В. Нагрузочные эффекты в ГНСС-наблюдениях при исследовании региональной геодинамики // Вестник СПбГУ. Сер. 1, 2012. №2. С. 148-156.
9. Горшков В.Л., Н.В. Щербакова. Исследование случайных и систематических ошибок GPS-наблюдений на территории Пулковской обсерватории // Международный научно-технический и производственный электронный журнал «Науки о Земле», 2012. №4, С. 12-22.
10. Горшков В.Л., А.В. Мохнаткин, С.Д. Петров, С.С. Смирнов, Д.А. Трофимов, Н.В. Щербакова. Исследование геодинамики зоны сопряжения Балтийского щита с Восточно-Европейской платформой по данным ГНСС-наблюдений // Вестник СПбГУ. Сер. 1, Том 2(60), 2015. № 3. С. 482-491.
11. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница». Под. ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского. СПб: Пресском, 1997, 307 с.
12. ГОСТ 24846-12 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений».
13. Жуков Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий. Новосибирск: СГГА, 2003, 356 с.

14. Жуков Б.Н., Карпик А.П. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов. Новосибирск: СГГА, 2006, 148 с.
15. Иодис В.Я. Система мониторинга деформаций компании JAVAD GNSS // Геопрофи, 2015. № 3. С. 4-8.
16. Иодис В.Я., Бойков А.В., Конева А.А. Использование аппаратуры JAVAD GNSS для оценки пространственных смещений здания «Триумф Палас» // Геопрофи, 2016. № 2. С. 10-13.
17. Куприянов А.О., Морозов Д.А. Экспериментальный мониторинг ионосферы с применением мультисистемной ГНСС-аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 2016. № 1. С. 29-33.
18. МДС 13-23.2009 Рекомендации по проведению динамического мониторинга высотных зданий и сооружений с использованием навигационного поля глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). М.: ОАО «ЦПП», 2010, 28 с.
19. Проектная документация. Общая пояснительная записка. Технологические и инженерные решения сети референцных станций. Спб, 2010, 102 с.
20. Серапинас Б.Б. Введение в ГЛОНАСС и GPS измерения: Учеб. пособие. Ижевск: Удм. гос. ун-т, 1999, 93 с.
21. Серебрякова Л.И., Басманов А.В. Предварительные результаты обработки и анализа повторных геодезических измерений, выполненных на Северо-Кавказском геодинамическом полигоне Росреестра // Геодезия и картография, 2014. № 4. С. 44-54.
22. Серебрякова Л.И. Спутниковые повторные измерения на геодинамических полигонах Росреестра. Часть I. Северо-Кавказский геодинамический полигон // Геодезия и картография, 2015. № 6. С. 49-57.
23. Серебрякова Л.И. Спутниковые повторные измерения на геодинамических полигонах Росреестра. Часть II. Северо-Сахалинский геодинамический полигон // Геодезия и картография, 2015. № 7. С. 52-61.
24. Спутниковые навигационные системы: Учеб. пособие. М.: МАИ каф. 604, 2004, 336 с.
25. Тюрин С.В. Применение метода сингулярного разложения для обработки данных с датчика расстояний при наблюдениях за вращающимися объектами, СПб, 2005, 20 с.
26. Шевчук С.О., Мелеск А.Х., Косарев Н.С. Исследование точности метода PPP для навигационно-геодезического обеспечения геофизических работ // Геопрофи, 2016. №3. С. 10-15.

27. Шевчук С.О., Малютина К.И., Липатников Л.А. Перспективы использования свободного программного обеспечения для постобработки ГНСС-измерений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр.: 17-21 апреля 2017 г., Новосибирск : Пленарное заседание : сб. материалов. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. С. 74-89.
28. Altamimi Z., Metivier L. and Collilieux X., 2012. ITRF2008 plate motion model. J. Geophys. Res., № 117, Issue B7.
29. Assinovskaya B., Shchulin J., Gorshkov V., Shcherbakova N. On recent geodynamics of the Eastern Baltic Sea region // Baltrica, 2011. № 24 (2). P. 61-70.
30. Blewitt, G. and D. Lavallée. Effect of annual signals on geodetic velocity // J. Geophys. Res., 2002. № 107, B7, 2145.
31. Hofmann-Wellenhof, B. Global Positioning System. Theory and practice. – Fifth, revised edition / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins – Wienn, New-York: Springer, 2001, P. 384.
32. Kreemer C., Blewitt G., Klein E.C. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model // Geochem. Geophys. Geosyst., 2014. № 15, P. 3849-3889.
33. Liangke Huang, Weiping Jiang, Lilong Liu, Hua Chen, Shirong Ye. A new global grid model for the determination of atmospheric weighted mean temperature in GPS precipitable water vapor // Journal of Geodesy, 2018. № 92.
34. Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking // InsideGNSS, 2006. № 6, P. 16-21.
35. Petrov L., Boy J.-P. Study of the atmospheric pressure loading signal in VLBI observations // J. Geophys. Res., 2004. № 109, B03405.
36. Van Dam, T., J. Wahr, P. C. D. Milly, A. B. Shmakin, G. Blewitt, D. Lavallee, and K. M. Larson/ Crustal displacements due to continental water loading // Geophys. Res. Lett., 2001. №28, P. 651-654.
37. Crustal Dynamics Data Information System NASA - <https://cddis.nasa.gov/> .
38. Ocean tide loading provider - <http://holt.oso.chalmers.se/loading/index.html> .
39. International Mass Loading Service - <http://massloading.net/> .
40. Сеть референчных станций СПБГУ - http://www.prin.ru/seti_referencyh_stancij/sanktpeterburgskij_gosudarstvennyj_universitet_spbgu/ .
41. Сеть референчных станций Санкт-Петербурга - <http://ref.kgainfo.spb.ru/> .
42. Scripps Orbit and Permanent Array Center - <http://sopac.ucsd.edu/> .
43. Plate Motion Calculator - <https://www.unavco.org> .

Приложение А. Пример отчета Trimble Business Center

Информация о проекте		Система координат	
Имя:	D:\Мои документы\Курсовые\2018\Васил ина\proj_27.03.vce	Имя:	Russia
Размер:	7 МВ	ИГД:	CS-42
Дата последнего изменения:	27.03.2018 16:30:18 (UTC:4)	Зона:	Zone 5
Часовой пояс:	Московское время (зима)	Геоид:	EGM96 (Global)
Шифр:		ИГД по высоте:	
Описание:			

Список точек

Имя	Восток Y (Метр)	Север X (Метр)	Отметка (Метр)	Код объекта
GORN_01_01	682747.727	6650983.361	34.208	
GORN_01_02	682747.729	6650983.361	34.222	
GORN_01_03	682747.731	6650983.359	34.214	
GORN_01_04	682747.731	6650983.359	34.204	
GORN_01_05	682747.730	6650983.362	34.209	
GORN_01_06	682747.726	6650983.364	34.214	
GORN_01_07	682747.728	6650983.369	34.233	
GORN_01_08	682747.727	6650983.364	34.228	
GORN_01_09	682747.729	6650983.361	34.202	
GORN_01_10	682747.731	6650983.366	34.223	
GORN_01_11	682747.724	6650983.372	34.236	
GORN_01_12	682747.724	6650983.369	34.207	
GORN_01_13	682747.732	6650983.364	34.202	
GORN_01_14	682747.729	6650983.363	34.221	
GORN_01_15	682747.725	6650983.363	34.226	
GORN_01_16	682747.730	6650983.363	34.223	
GORN_01_17	682747.728	6650983.357	34.211	
GORN_01_18	682747.727	6650983.358	34.180	
GORN_01_19	682747.729	6650983.360	34.161	
GORN_01_20	682747.726	6650983.357	34.164	
GORN_01_21	682747.724	6650983.362	34.180	
GORN_01_22	682747.729	6650983.359	34.217	
GORN_01_23	682747.727	6650983.366	34.195	
GORN_01_24	682747.723	6650983.360	34.177	
KRON_01_01	652560.372	6658102.277	19.246	
KRON_01_02	652560.377	6658102.282	19.263	
KRON_01_03	652560.379	6658102.279	19.257	
KRON_01_04	652560.379	6658102.276	19.240	
KRON_01_05	652560.380	6658102.279	19.237	

KRON_01_06	652560.374	6658102.282	19.246
KRON_01_07	652560.375	6658102.287	19.260
KRON_01_08	652560.376	6658102.283	19.251
KRON_01_09	652560.376	6658102.277	19.230
KRON_01_10	652560.378	6658102.287	19.244
KRON_01_11	652560.377	6658102.289	19.260
KRON_01_12	652560.376	6658102.284	19.249
KRON_01_13	652560.379	6658102.282	19.240
KRON_01_14	652560.377	6658102.283	19.252
KRON_01_15	652560.374	6658102.279	19.270
KRON_01_16	652560.376	6658102.281	19.261
KRON_01_17	652560.377	6658102.275	19.235
KRON_01_18	652560.376	6658102.276	19.217
KRON_01_19	652560.376	6658102.277	19.201
KRON_01_20	652560.376	6658102.277	19.199
KRON_01_21	652560.374	6658102.277	19.221
KRON_01_22	652560.375	6658102.277	19.253
KRON_01_23	652560.378	6658102.283	19.236
KRON_01_24	652560.375	6658102.273	19.232
KUP2_01_01	689061.731	6646565.555	26.673
KUP2_01_02	689061.732	6646565.557	26.679
KUP2_01_03	689061.735	6646565.552	26.676
KUP2_01_04	689061.738	6646565.550	26.667
KUP2_01_05	689061.738	6646565.556	26.663
KUP2_01_06	689061.730	6646565.554	26.674
KUP2_01_07	689061.731	6646565.559	26.693
KUP2_01_08	689061.729	6646565.563	26.695
KUP2_01_09	689061.732	6646565.557	26.661
KUP2_01_10	689061.733	6646565.563	26.682
KUP2_01_11	689061.729	6646565.564	26.692
KUP2_01_12	689061.730	6646565.566	26.678
KUP2_01_13	689061.737	6646565.552	26.665
KUP2_01_14	689061.733	6646565.560	26.683
KUP2_01_15	689061.729	6646565.554	26.687
KUP2_01_16	689061.735	6646565.556	26.678
KUP2_01_17	689061.734	6646565.554	26.663
KUP2_01_18	689061.731	6646565.555	26.645
KUP2_01_19	689061.732	6646565.549	26.628
KUP2_01_20	689061.732	6646565.558	26.624
KUP2_01_21	689061.730	6646565.553	26.645
KUP2_01_22	689061.732	6646565.555	26.663
KUP2_01_23	689061.736	6646565.552	26.652
KUP2_01_24	689061.729	6646565.548	26.637
LOM2_01_01	656095.535	6645355.919	44.797

LOM2_01_02	656095.539	6645355.917	44.815
LOM2_01_03	656095.539	6645355.916	44.809
LOM2_01_04	656095.540	6645355.915	44.796
LOM2_01_05	656095.542	6645355.921	44.806
LOM2_01_06	656095.533	6645355.920	44.810
LOM2_01_07	656095.538	6645355.926	44.817
LOM2_01_08	656095.535	6645355.925	44.822
LOM2_01_09	656095.536	6645355.923	44.798
LOM2_01_10	656095.542	6645355.922	44.816
LOM2_01_11	656095.535	6645355.935	44.828
LOM2_01_12	656095.534	6645355.927	44.803
LOM2_01_13	656095.544	6645355.920	44.793
LOM2_01_14	656095.538	6645355.925	44.817
LOM2_01_15	656095.530	6645355.910	44.814
LOM2_01_16	656095.539	6645355.917	44.797
LOM2_01_17	656095.540	6645355.920	44.793
LOM2_01_18	656095.534	6645355.919	44.772
LOM2_01_19	656095.539	6645355.917	44.749
LOM2_01_20	656095.536	6645355.917	44.759
LOM2_01_21	656095.535	6645355.919	44.776
LOM2_01_22	656095.540	6645355.919	44.799
LOM2_01_23	656095.538	6645355.927	44.779
LOM2_01_24	656095.533	6645355.920	44.784
MURN_01_01	692494.369	6665650.109	50.849
MURN_01_02	692494.373	6665650.112	50.865
MURN_01_03	692494.373	6665650.119	50.861
MURN_01_04	692494.368	6665650.105	50.845
MURN_01_05	692494.374	6665650.106	50.832
MURN_01_06	692494.369	6665650.111	50.841
MURN_01_07	692494.468	6665650.081	50.825
MURN_01_08	692494.358	6665650.122	50.842
MURN_01_09	692494.375	6665650.105	50.802
MURN_01_10	692494.376	6665650.102	50.827
MURN_01_11	692494.373	6665650.119	50.849
MURN_01_12	692494.374	6665650.116	50.843
MURN_01_13	692494.371	6665650.119	50.841
MURN_01_14	692494.375	6665650.122	50.848
MURN_01_15	692494.369	6665650.109	50.849
MURN_01_16	692494.362	6665650.119	50.913
MURN_01_17	692494.372	6665650.107	50.861
MURN_01_18	692494.367	6665650.098	50.836
MURN_01_19	692494.367	6665650.103	50.817
MURN_01_20	692494.368	6665650.107	50.795
MURN_01_21	692494.371	6665650.107	50.799

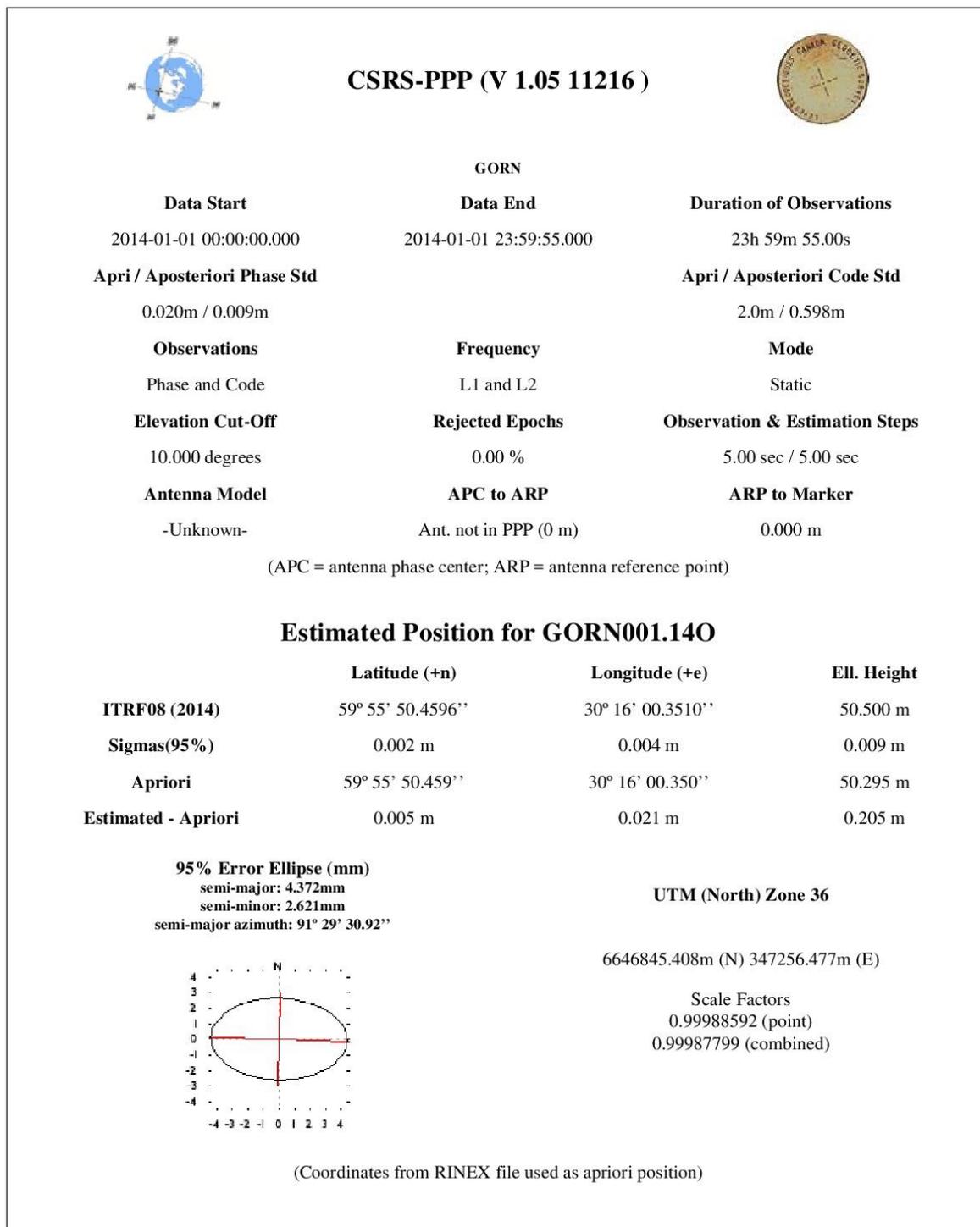
MURN_01_22	692494.376	6665650.101	50.861
MURN_01_23	692494.367	6665650.125	50.843
MURN_01_24	692494.367	6665650.112	50.827
PRV2_01_01	636354.615	6676029.770	23.656
PRV2_01_02	636354.621	6676029.771	23.659
PRV2_01_03	636354.622	6676029.770	23.661
PRV2_01_04	636354.624	6676029.764	23.646
PRV2_01_05	636354.623	6676029.776	23.641
PRV2_01_06	636354.617	6676029.775	23.648
PRV2_01_07	636354.619	6676029.778	23.648
PRV2_01_08	636354.619	6676029.778	23.643
PRV2_01_09	636354.620	6676029.771	23.617
PRV2_01_10	636354.625	6676029.772	23.635
PRV2_01_11	636354.619	6676029.783	23.649
PRV2_01_12	636354.617	6676029.779	23.637
PRV2_01_13	636354.618	6676029.775	23.631
PRV2_01_14	636354.619	6676029.774	23.641
PRV2_01_15	636354.617	6676029.778	23.656
PRV2_01_16	636354.619	6676029.775	23.658
PRV2_01_17	636354.619	6676029.764	23.658
PRV2_01_18	636354.615	6676029.760	23.627
PRV2_01_19	636354.620	6676029.767	23.608
PRV2_01_20	636354.619	6676029.767	23.602
PRV2_01_21	636354.617	6676029.771	23.620
PRV2_01_22	636354.620	6676029.764	23.664
PRV2_01_23	636354.618	6676029.775	23.660
PRV2_01_24	636354.614	6676029.767	23.658
PUSH_01_01	690697.950	6630039.551	64.646
PUSH_01_02	690697.952	6630039.553	64.654
PUSH_01_03	690697.951	6630039.551	64.650
PUSH_01_04	690697.958	6630039.547	64.633
PUSH_01_05	690697.955	6630039.556	64.640
PUSH_01_06	690697.948	6630039.550	64.637
PUSH_01_07	690697.952	6630039.560	64.669
PUSH_01_08	690697.949	6630039.560	64.663
PUSH_01_09	690697.951	6630039.551	64.642
PUSH_01_10	690697.953	6630039.556	64.657
PUSH_01_11	690697.947	6630039.565	64.681
PUSH_01_12	690697.950	6630039.559	64.656
PUSH_01_13	690697.955	6630039.548	64.647
PUSH_01_14	690697.952	6630039.550	64.648
PUSH_01_15	690697.946	6630039.541	64.650
PUSH_01_16	690697.954	6630039.550	64.627
PUSH_01_17	690697.954	6630039.556	64.621

PUSH_01_18	690697.952	6630039.556	64.606
PUSH_01_19	690697.953	6630039.549	64.589
PUSH_01_20	690697.950	6630039.559	64.607
PUSH_01_21	690697.950	6630039.554	64.608
PUSH_01_22	690697.952	6630039.552	64.632
PUSH_01_23	690697.950	6630039.554	64.621
PUSH_01_24	690697.949	6630039.549	64.597
ROSI_01_01	686520.771	6651119.434	35.315
ROSI_01_02	686520.772	6651119.439	35.312
ROSI_01_03	686520.777	6651119.439	35.310
ROSI_01_04	686520.777	6651119.431	35.308
ROSI_01_05	686520.776	6651119.440	35.297
ROSI_01_06	686520.772	6651119.440	35.307
ROSI_01_07	686520.770	6651119.444	35.313
ROSI_01_08	686520.769	6651119.447	35.321
ROSI_01_09	686520.771	6651119.435	35.289
ROSI_01_10	686520.773	6651119.441	35.311
ROSI_01_11	686520.766	6651119.452	35.320
ROSI_01_12	686520.776	6651119.440	35.309
ROSI_01_13	686520.776	6651119.438	35.297
ROSI_01_14	686520.773	6651119.441	35.314
ROSI_01_15	686520.774	6651119.444	35.322
ROSI_01_16	686520.777	6651119.431	35.322
ROSI_01_17	686520.771	6651119.435	35.302
ROSI_01_18	686520.770	6651119.435	35.269
ROSI_01_19	686520.774	6651119.434	35.261
ROSI_01_20	686520.771	6651119.437	35.262
ROSI_01_21	686520.771	6651119.439	35.262
ROSI_01_22	686520.773	6651119.438	35.298
ROSI_01_23	686520.771	6651119.443	35.282
ROSI_01_24	686520.770	6651119.432	35.274
SEST_01_01	664227.070	6671191.092	49.351
SEST_01_02	664227.071	6671191.093	49.361
SEST_01_03	664227.069	6671191.096	49.353
SEST_01_04	664227.075	6671191.087	49.340
SEST_01_05	664227.073	6671191.093	49.345
SEST_01_06	664227.071	6671191.098	49.351
SEST_01_07	664227.070	6671191.107	49.359
SEST_01_08	664227.070	6671191.098	49.362
SEST_01_09	664227.071	6671191.096	49.335
SEST_01_10	664227.070	6671191.095	49.338
SEST_01_11	664227.069	6671191.100	49.350
SEST_01_12	664227.070	6671191.100	49.343
SEST_01_13	664227.072	6671191.099	49.333

SEST_01_14	664227.071	6671191.098	49.346	
SEST_01_15	664227.068	6671191.093	49.352	
SEST_01_16	664227.073	6671191.094	49.359	
SEST_01_17	664227.071	6671191.091	49.371	
SEST_01_18	664227.064	6671191.086	49.333	
SEST_01_19	664227.070	6671191.090	49.305	
SEST_01_20	664227.068	6671191.089	49.314	
SEST_01_21	664227.069	6671191.091	49.319	
SEST_01_22	664227.070	6671191.094	49.360	
SEST_01_23	664227.070	6671191.096	49.352	
SEST_01_24	664227.069	6671191.087	49.343	
SVED_01_01	706394.557	6636699.635	25.637	
SVED_01_02	706394.561	6636699.638	25.642	
SVED_01_03	706394.561	6636699.636	25.640	
SVED_01_04	706394.562	6636699.633	25.619	
SVED_01_05	706394.562	6636699.638	25.630	
SVED_01_06	706394.556	6636699.635	25.628	
SVED_01_07	706394.558	6636699.639	25.645	
SVED_01_08	706394.554	6636699.642	25.650	
SVED_01_09	706394.559	6636699.635	25.625	
SVED_01_10	706394.560	6636699.638	25.633	
SVED_01_11	706394.556	6636699.652	25.656	
SVED_01_12	706394.557	6636699.644	25.639	
SVED_01_13	706394.563	6636699.636	25.629	
SVED_01_14	706394.559	6636699.637	25.645	
SVED_01_15	706394.556	6636699.632	25.647	
SVED_01_16	706394.562	6636699.635	25.626	
SVED_01_17	706394.562	6636699.638	25.618	
SVED_01_18	706394.558	6636699.634	25.596	
SVED_01_19	706394.562	6636699.632	25.579	
SVED_01_20	706394.557	6636699.634	25.584	
SVED_01_21	706394.557	6636699.641	25.587	
SVED_01_22	706394.555	6636699.637	25.596	
SVED_01_23	706394.560	6636699.640	25.601	
SVED_01_24	706394.555	6636699.633	25.592	
SVTL	652770.446	6716795.016	61.229	

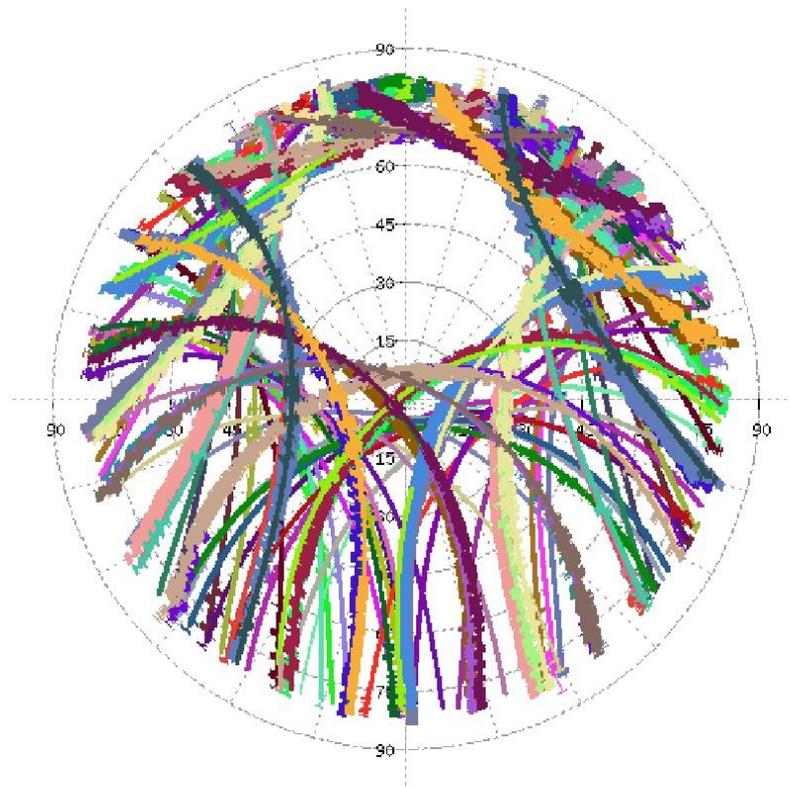
30.03.2018 11:51:45	D:\Мои документы\Курсовые\2018\Василина\proj_ 27.03.vce	Trimble Business Center
------------------------	---	-------------------------

Приложение Б. Пример отчета online-сервера CSRS-PPP



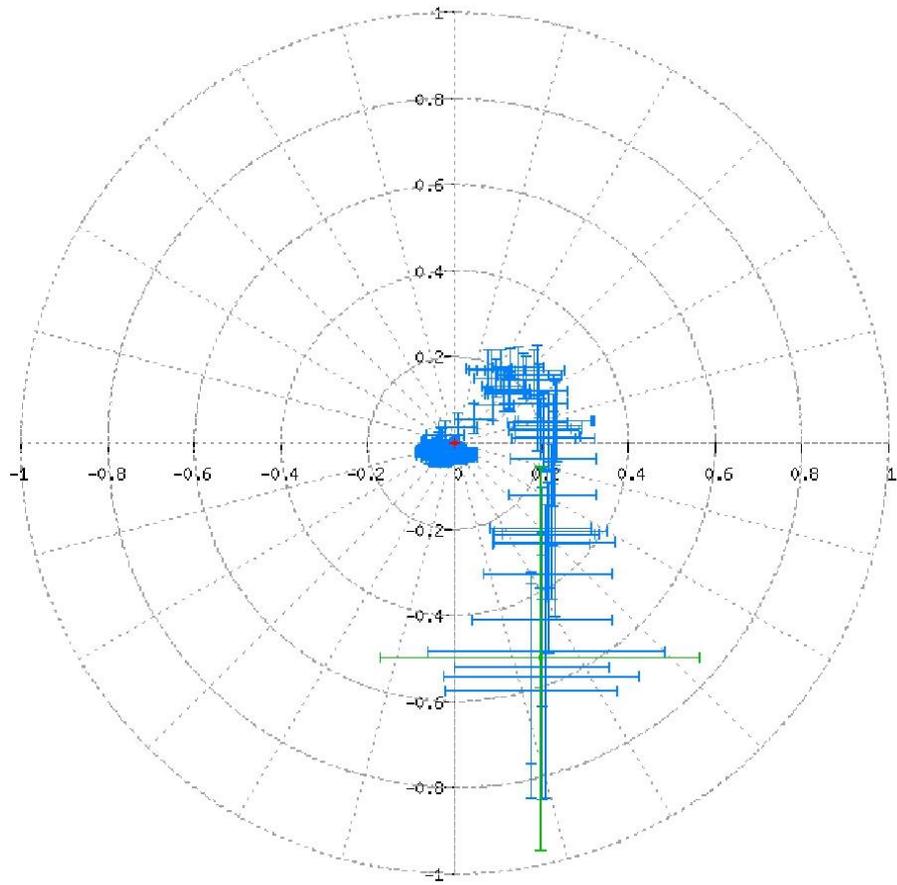
Estimated Parameters & Observations Statistics

Pseudo-Range Residuals Sky Distribution



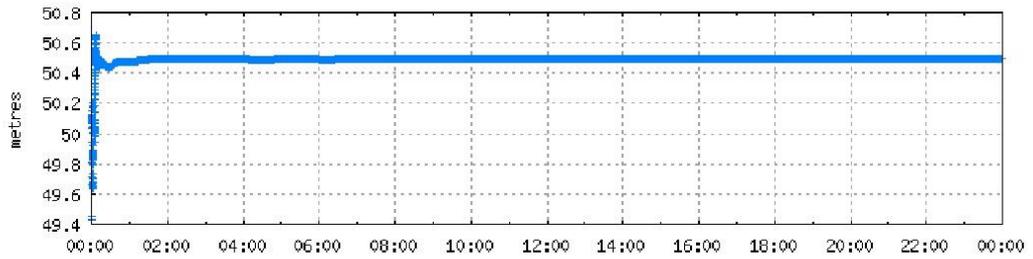
PRN01	PRN08	PRN15	PRN22	PRN29	R__05	R__12	R__19
PRN02	PRN09	PRN16	PRN23	PRN31	R__06	R__13	R__20
PRN03	PRN10	PRN17	PRN24	PRN32	R__07	R__14	R__21
PRN04	PRN11	PRN18	PRN25	R__01	R__08	R__15	R__22
PRN05	PRN12	PRN19	PRN26	R__02	R__09	R__16	R__23
PRN06	PRN13	PRN20	PRN27	R__03	R__10	R__17	R__24
PRN07	PRN14	PRN21	PRN28	R__04	R__11	R__18	

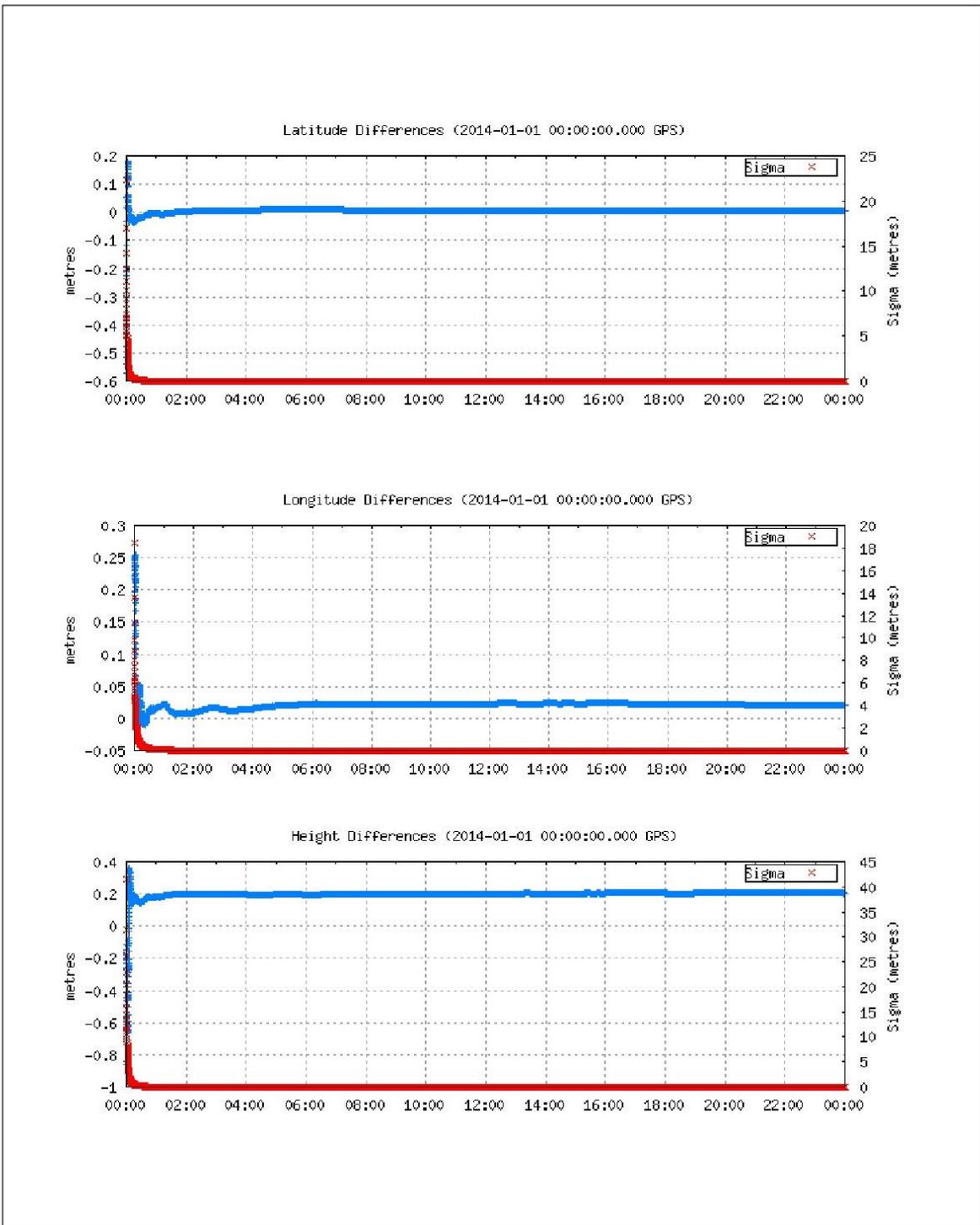
Corrections to apriori position (minus Final corrections) (metres)

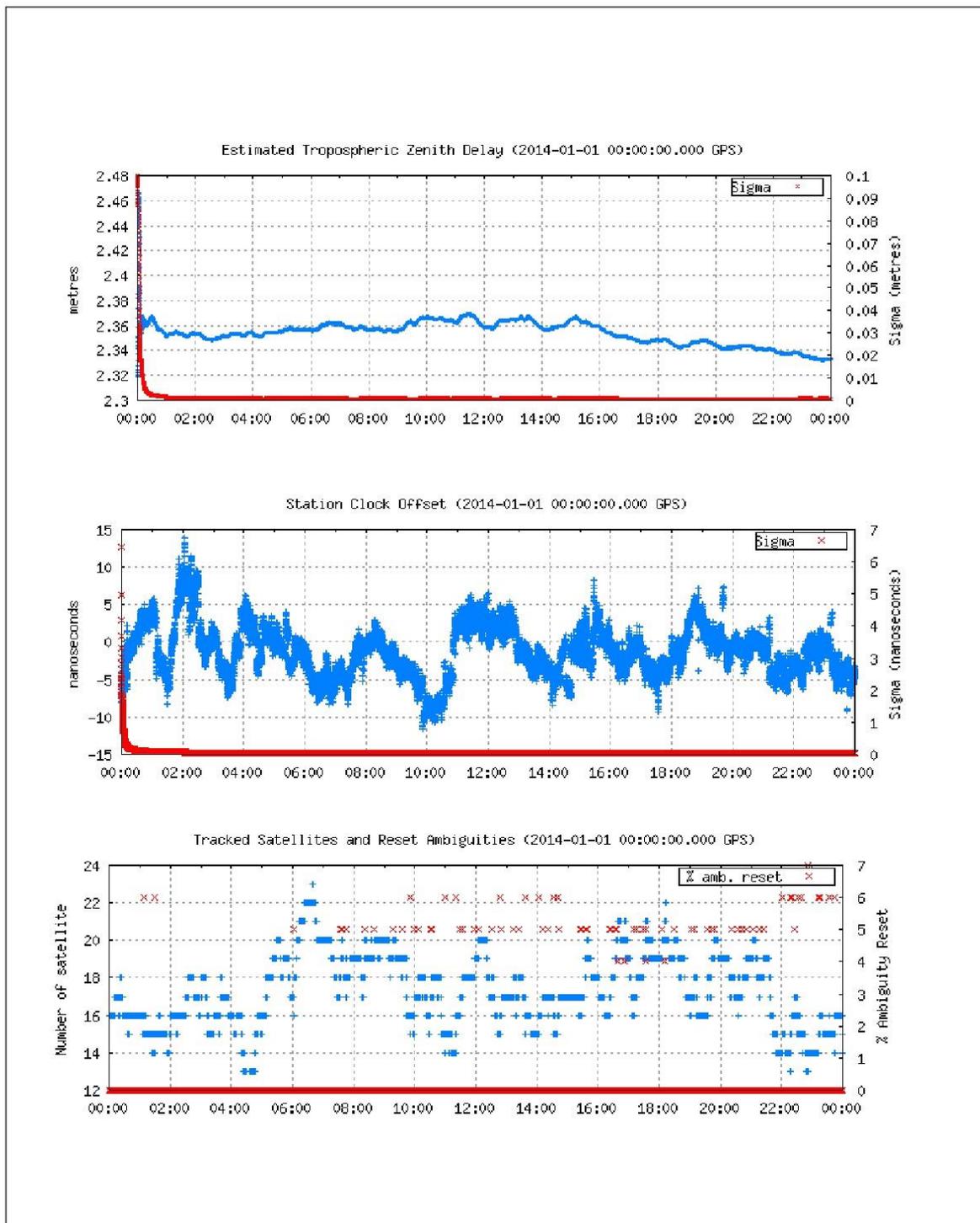


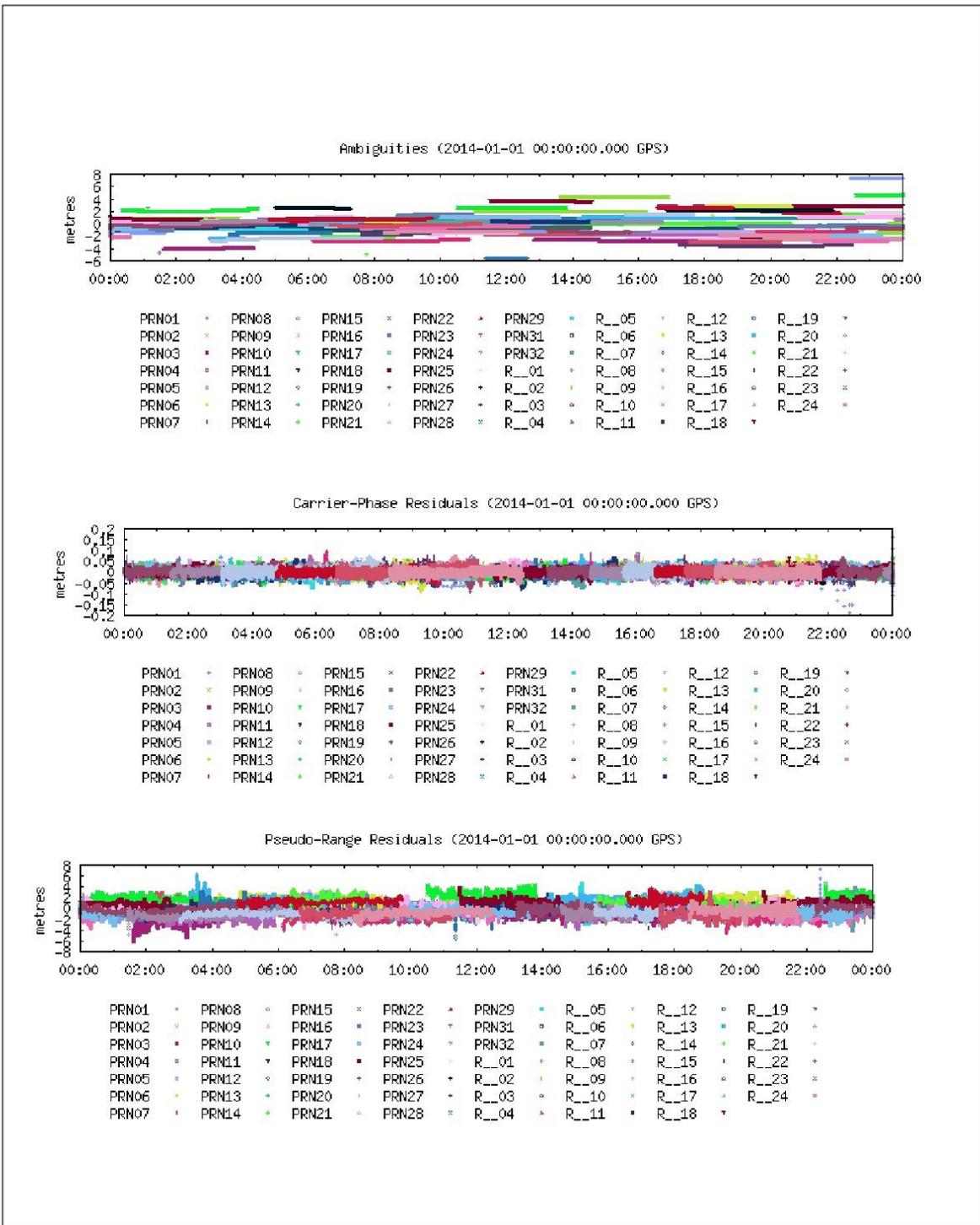
(1 sigma std of position corrections) / 50 
(1 sigma std of initial position correction) / 50 
(1 sigma std of final position correction) / 50 

Ellipsoidal Height Profile (2014-01-01 00:00:00.000 GPS)









~~~ Disclaimer ~~~

**Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its PPP-On-Line positioning service.**

**If you have any questions, please feel free to contact:  
EMail: [nrcan.geodeticinformationservices.nrcan@canada.ca](mailto:nrcan.geodeticinformationservices.nrcan@canada.ca)  
Phone: 343-292-6617**



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

Приложение В. Графики временных рядов для каждой  
перманентной ГНСС-станции

