

Исследование влияния сезонного фактора на результаты координатных определений спутниковыми методами

Д. А. Халимончик^{1}, А. А. Силаева¹, А. А. Панжин²*

¹ Новосибирский техникум геодезии и картографии СГУГиТ, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация
* e-mail: danya02232002@yandex.ru

Аннотация. В статье выполнено сравнение абсолютного и относительного методов спутниковых определений координат с учетом сезонного фактора. Для исследования были использованы файлы спутниковых наблюдений пункта СГС-1, расположенного в Екатеринбурге. Результаты исследования подтверждают влияние сезонного фактора на результаты координатных определений.

Ключевые слова: спутниковые измерения, координатные определения, сезонный фактор, тропосферная задержка, дистанционное зондирование

Study of the influence of the seasonal factor on the results of coordinate determinations by satellite methods

D. A. Khalimonchik^{1}, A. A. Silaeva¹, A. A. Panzhin²*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² Institute of Mining, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation
* e-mail: danya02232002@yandex.ru

Abstract. The article compares the absolute and relative methods of satellite coordinate determination taking into account the seasonal factor. Satellite observation files of the CGS-1 point located in Yekaterinburg were used for the study. The results of the study confirm the influence of the seasonal factor on the results of coordinate determinations.

Keywords: satellite measurements, coordinate definitions, seasonal factor, tropospheric latency, remote sensing

Введение

С появлением спутниковых наблюдений значительно упростился процесс получения координат геодезических пунктов. Известно, что на прием спутниковых сигналов влияет множество факторов таких как ионосферные, тропосферные задержки, многопутность распространения сигнала и т.д [1-4].

Целью данной работы является исследование влияния сезонного фактора на результаты координатных определений, полученных абсолютным и относительным методами обработки спутниковых измерений.

Сведения об измерениях

Исходными данными для исследования служат файлы наблюдений пункта спутниковой сети 1 класса, расположенного в Екатеринбурге (ЕКМІ, рис. 1) с 2012 по 2021 год.

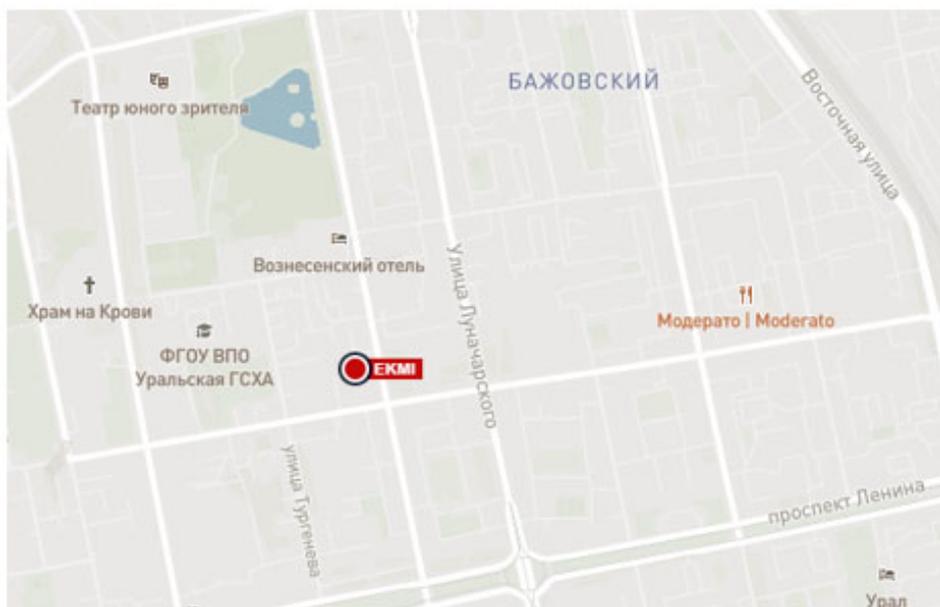


Рис. 1. Пункт ЕКМІ на карте Екатеринбурга

Измерения были выполнены двухчастотным приемником, частота позиционирования – 1 минута. Измерения на пункте проводились в режиме «статика». Продолжительность наблюдений – 24 часа. Маска по высоте – 10° . Наблюдения на пункте проводились в течение десяти лет по 5 суток в каждом сезоне (февраль, май, август, ноябрь).

Известно, что Екатеринбург находится в зоне границы умеренно континентального климата с континентальным. Для него характерна резкая изменчивость погодных условий с хорошо выраженными сезонами года [5]. Среднегодовая температура воздуха в Екатеринбурге по месяцам представлена в таблице 1.

Таблица 1

Среднегодовая температура воздуха в Екатеринбурге по месяцам, в $^\circ\text{C}$

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Feb	-13.4	-7.6	-15.83	-7.67	-6.01	-11.76	-13.32	-2.82	-4.78	-15.59
May	+15.2	11.6	13.4	11.89	13.28	10.13	6.78	12.56	14.15	18.17
Aug	+13.9	17.6	16.01	11.4	21.61	16.56	15.12	15.19	17	19.94
Nov	-3.59	1.8	-6.84	-7.73	-11.12	-3.58	-1.32	-4.88	-5.26	-3.7

Сортировка файлов наблюдений

Для работы файлы наблюдений были отсортированы по дням, далее из 24 часовых файлов был создан суточный файл. Все они были отсортированы по сезонам и отправлены на дальнейшую обработку.

Обработка файлов спутниковых наблюдений

Для проведения исследования были выбраны два онлайн-сервиса с открытым кодом – Auspos и CSRS-PPP.

Сервис Auspos [6] основан на относительном методе определения координат. Он создан ведущей научной организацией правительства Австралии в сфере наук о Земле (Geoscience Australia).

Для обработки необходимо загрузить на сайт файл наблюдений в формате RINEX и указать электронный адрес. В течении часа на этот адрес приходит отчет, который содержит информацию об измерениях (название пункта, тип антенны, продолжительность наблюдений), геоцентрические и геодезические координаты пунктов.

Т.к. сервис Auspos базируется на относительном методе определения координат, а именно определяет координаты исходного пункта относительно соседних пунктов IGS, то отчет содержит также схему всех пунктов, принятых для расчетов и все их координаты (X, Y, Z, B, L, H).

Онлайн-сервис CSRS-PPP [7] – канадский сайт, который реализует метод Presise Point Position (PPP) – абсолютный метод координатных определений. Принцип работы такой же, но файлы можно отправлять архивом в формате *.zip. Здесь координаты определяются непосредственно по эфемеридам спутников с учетом временной информации.

Сравнение данных

По отчетам, полученным с двух сервисов были составлены таблицы, содержащие геоцентрические и геодезические координаты пунктов.

Далее по каждой координате было вычислено среднее значение за год. Затем была вычислена разность по каждой из координат, определенных двумя способами. По этим данным было построены графики (рисунок 2-7).

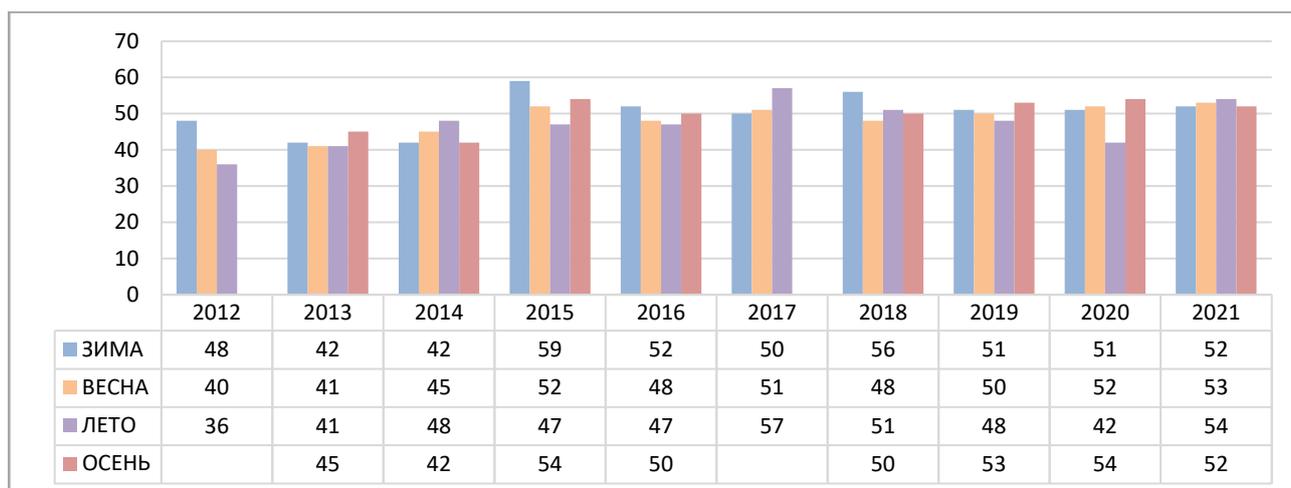


Рис. 2. Разности, полученные по координате X, мм

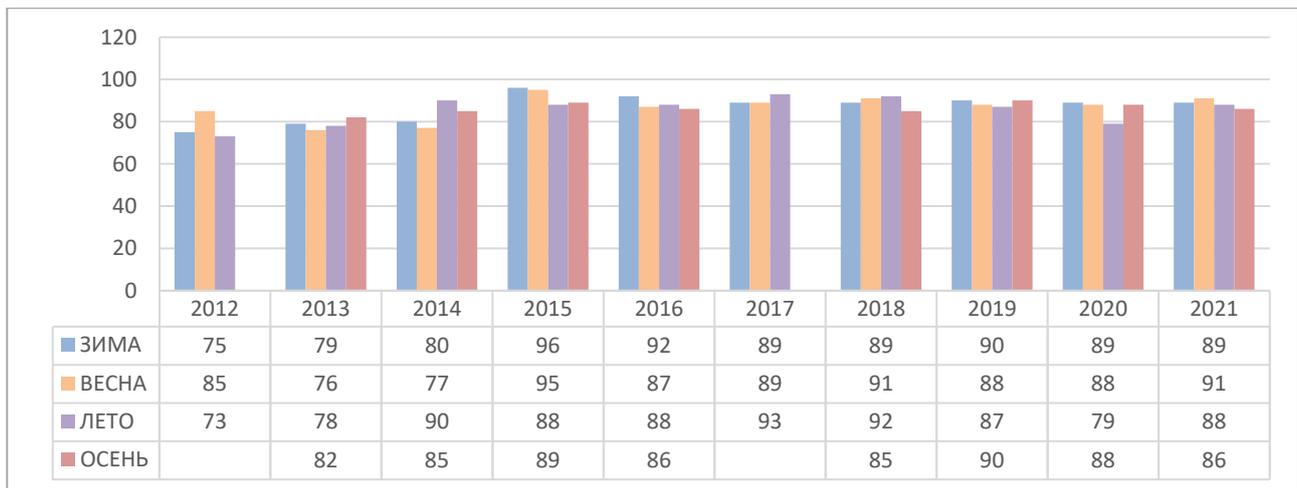


Рис. 3. Разности, полученные по координате Y, мм



Рис. 4. Разности, полученные по координате Z, мм

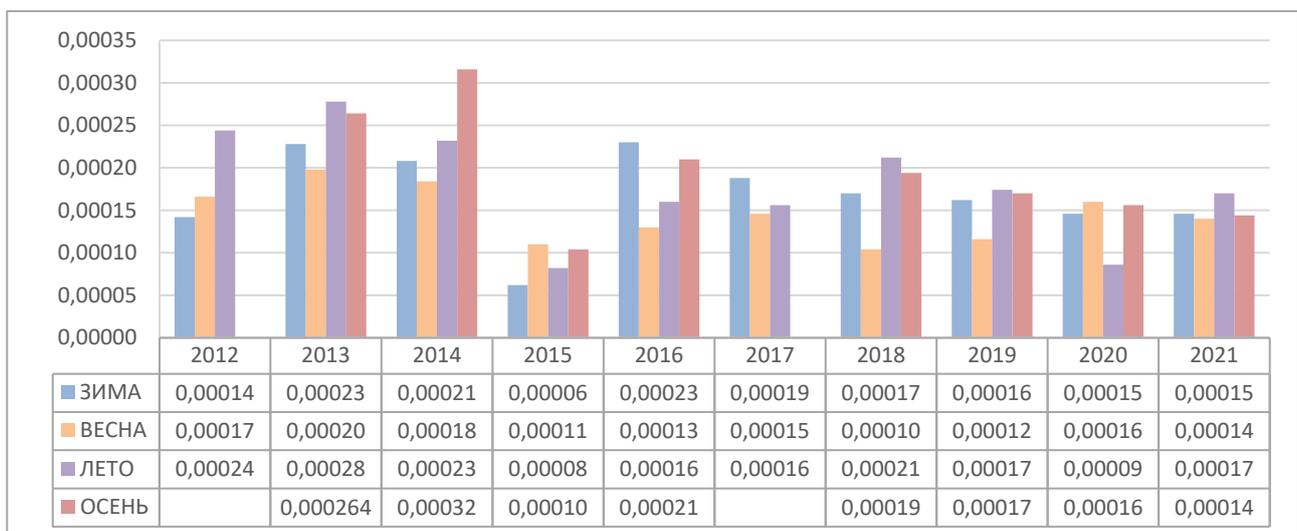


Рис. 5. Разности, полученные по координате B, °

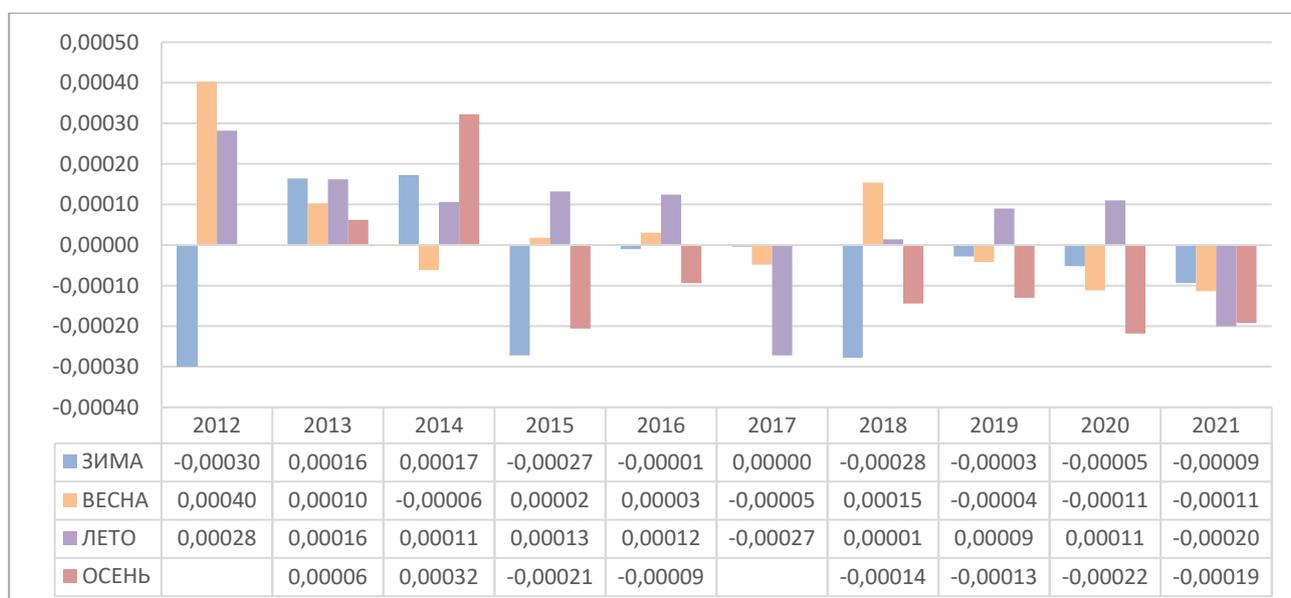


Рис. 6. Разности, полученные по координате L, “

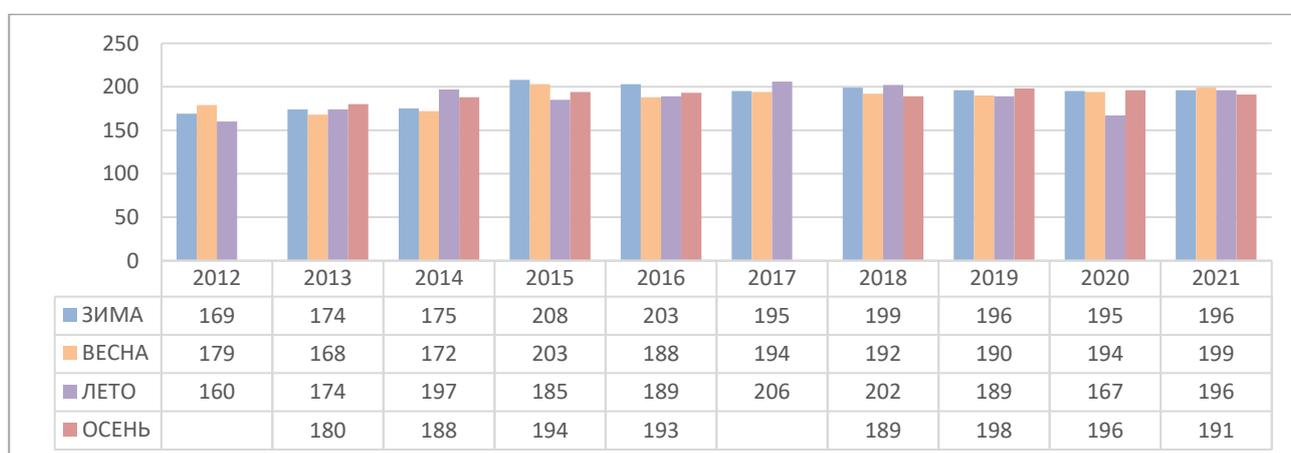


Рис. 7. Разности, полученные по координате H, мм

Интерпретация результатов

Самое большое расхождение между двумя способами получилось по координате Z. Оно составляет в среднем 16 см. По координате Y расхождение составляет порядка 9 см, по X – 5 см.

Из сравнения результатов, полученных по координатам X и Z видно, что расхождения между двумя способами увеличиваются в холодное время года (зима-осень), а летом расхождения минимальны. По координате Y нельзя выявить такую сезонную закономерность. Расхождения здесь одинаковы в каждом сезоне.

Что касается геодезических координат, то самое большое расхождение между двумя способами по долготе, оно составляет $4 \cdot 10^{-4}$ ". В среднем по широте максимальное расхождение составляет $3 \cdot 10^{-4}$ ". По высоте расхождения составили порядка 20 см.

Из сравнения результатов, полученных по широте и долготе также видно, что расхождения увеличиваются в холодное время года (зима-осень), а летом расхождения незначительны. По высоте расхождения минимальны. Отметим, что по всем сравниваемым координатам, кроме геодезической долготы, значения координат, полученные относительным способом, превысили значения, полученные абсолютным способом. По долготе абсолютные значения координат превысили относительные в семи годах из десяти исследуемых и чаще всего в холодное время года.

Заключение

Итак, при оценке полученных результатов было установлено, что понижение температуры в зимний и осенний периоды увеличивает расхождение между способами в среднем на 13 % по координате X, на 8 % по координате Y, на 7 % по координате Z, на 37 % по координате B, на 6 % по координате L, на 9 % по координате H. Процентное расхождение показано на рисунке 8.

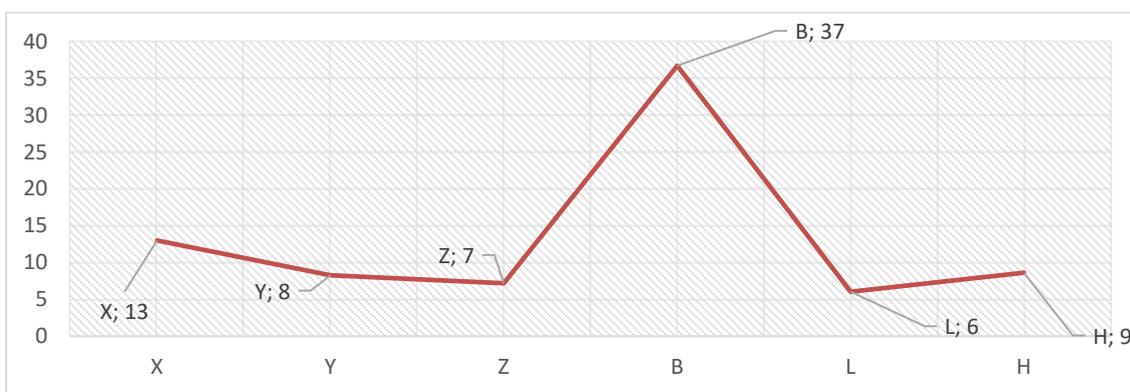


Рис. 8. Среднее расхождение в %

Этот эффект можно объяснить тем, что понижение температуры воздуха и осадки (дождь, туман, снег) в целом ослабляют спутниковый сигнал, причем чем интенсивнее осадки, тем больше ослабление сигнала.

Сервис Auspos применяет относительный метод координатных определений, т.е. определяет базовые векторы, которые соединяют пункты наблюдений в пространстве. Это метод считается более точным (точность миллиметровая), чем абсолютный, в котором точность дециметровая. Поэтому за эталонные были взяты значения координат, полученные относительным методом. Соответственно, можно сделать вывод о том, что ухудшение условий внешней среды больше влияет на точность абсолютного метода определения координат. Поэтому для точных геодезических работ предпочтительнее выбирать относительный метод. Для улучшения точности абсолютного метода необходимо особое внимание уделять внесению в результаты наблюдений поправок, исключая атмосферные искажения сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К.М., Фролова Е.К. Совместное использование метеоданных наземных и аэрологических наблюдений при обработке спутниковых измерений / К.М. Антонович, Е.К. Фролова. – Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2003. – № 8. – С. 8-13.
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых навигационных систем в геодезии. В 2 т. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – Т. 1. – 334 с.
3. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. / К.М. Антонович // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Картгеоцентр. – 2004. – 355 с.
4. Иванов В.А., Рябова Н.В., Кислицын А.А., Зуев А.В., Крылов С.В. Исследование влияния на помехоустойчивость радионавигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS метеоусловий и космической погоды / Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2011. – № 3 (13). – С. 25-35.
5. Архив погоды в Екатеринбурге [Электронный ресурс] – режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Екатеринбурге
6. Онлайн-сервис Auspos [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://gnss.ga.gov.au/auspos>
7. Онлайн-сервис CSRS-PPP [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://webapp.csrscs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>

© Д. А. Халимончик, А. А. Силаева, А. А. Панжин, 2023