

# ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС

---

УДК 528.16:681.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЯЗИ ITRF-2014 И МЕСТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

**Е. В. Бизня, А. А Панкова**

кафедра геодезии и геоинформационных систем факультета информационных технологий Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк,  
ekaterina\_biznya@mail.ru, nastya\_pankova31@inbox.ru

**В. В. Ялтыхов**

к.т.н., доцент кафедры геодезии и геоинформационных систем факультета информационных технологий Полоцкого государственного университета

Современные навигационные спутниковые системы позволяют определить пространственные координаты любой точки поверхности Земли в общеземных системах отсчета, а результаты топографо-геодезических работ обычно представляют в местных или локальных системах координат. Для связи общеземной системы координат и местной необходимо определить параметры перехода (ключ), которые позволяют в дальнейшем выполнять перевычисления координат для любых точек территории г. Новополоцка. Целью данной работы является анализ алгоритмов преобразования геодезических координат ITRF 2014 в прямоугольные координаты МСК, вычисление параметров перехода и оценка точности полученных результатов.

**Ключевые слова:** система координат; система отсчета; параметры связи; трансформирование; перевычисление; спутниковые системы.

В настоящее время имеется множество спутниковых систем с разной целью использования. В основном они ориентированы на получение данных как о форме и размерах Земли, так и об особенностях рельефа земной поверхности. Выполнение высокоточных измерений с помощью спутниковых систем (NavStar, ГЛОНАСС, Galileo и др.) тесно связано со строгими определениями координатных систем, в которых выполняются измерения.

Определение координат с помощью GNSS позволяет достигнуть фундаментальной цели геодезии - определение абсолютного положения с практически одинаковой точностью в любом месте на земной поверхности.

В Республике Беларусь развита сеть постоянно действующих пунктов (ПДП). Общее количество ПДП на территории РБ – 98. Они обеспечивает зону покрытия с гарантированным получением координат и высот пользователями, фактически, на всей территории республики. Однако, в последнее время достаточно быстро развивается сеть референсных GNSS-станций российской группы компаний EFT GROUP. Только на территории Республики Беларусь в настоящий момент находится 12 станций. Пространственные координаты этих станций определены в системе отсчета ITRF 2014 и для использования данной сети рефе-

ренчных GNSS-станций на территории РБ должны быть известны параметры перехода.

Существует порядка 260 местных систем координат, которые отличаются началом отсчета, параметрами. Для того, чтобы переходить от одной системы координат к другой требуется знать параметры перехода, которые не всегда доступны и имеются в открытом доступе.

Международная общеземная система отсчета ITRS имеет множество реализаций отсчетной основой ITRF. В настоящее время известно 11 версий ITRF. Каждое последующее решение превосходило по своей точности предшествующее. Последняя реализация как решение для сети опорных пунктов IGS ITRF2014. Предшествующая реализация – ITRF2008, ее решение было получено в апреле 2010 года. Координаты спутниковой геодезической сети Республики Беларусь определены в ITRS в реализации ITRF2005, отнесенная на эпоху 23.04.2008.

Международные опорные системы отсчета ITRF2014 и ITRF2005 имеют официальные параметры связи, опубликованные в [1]. Тогда трансформирование координат можно выполнить и самостоятельно, используя основные формулы параметров перехода.

Определение параметров связи системы отсчета ITRF2014 с государственной и местными системам координат можно выполнить по следующей схеме, приведенной на рисунке 1:



Рисунок 1 - Схема определение параметров связи

Имея наборы координат, например, в ITRF2005 и МСК, можно перевычислить координаты из ITRF2005 в ITRF2014 и далее определить 7 параметров Гельмерта для 3D-преобразований координат и параметры проекции МСК ( $L_0, \Delta x, \Delta y$ ).

ITRF-2005 и ITRF-2014 имеют официальные параметры связи, однако для корректного пересчета необходимо знать скорости изменения координат в этих системах отсчета. Для территории РБ таких официальных данных нет. В прошлом году в сеть EUREF были включены 10 станций спутниковой системы точного позиционирования, для которых скорости изменения координат не вычисляются, потому что пока имеют класс В.

Единственным вариантом для расчета скоростей изменения координат на территории РБ, который мы нашли, было использование модели движения тектонических плит для ITRF-2014. Последняя была получена путем моделирования нелинейных движений станций IGS, с учетом длиннобазисной интерферометрии, спутниковой лазерной локации (SLR) и доплеровских наблюдений со спутника DORIS. Для определения скоростей изменения координат в ITRF-2014 можно

воспользоваться онлайн-калькулятором представленном на сайте UNAVCO. Результаты вычислений приведены в таблице 1:

Таблица 1-Результаты вычислений

Система координат	Широта	Долгота	Скорость, мм/год			
			Общая	По X	По Y	По Z
ITRF2014	55.530744°	28.631744°	25.51	-19.96	14.01	7.47

Перевычисление координат из ITRF-2005(23.04.2008) в ITRF-2005 (01.01.2010) может быть выполнено по формулам 1:

$$\begin{aligned} X_{yy}(t_c) &= X_{yy}(t_0) + v_x(t_c - t_0) \\ Y_{yy}(t_c) &= Y_{yy}(t_0) + v_y(t_c - t_0) \\ Z_{yy}(t_c) &= Z_{yy}(t_0) + v_z(t_c - t_0) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $X_{yy}(t_0), Y_{yy}(t_0), Z_{yy}(t_0)$  – значение пространственных координат на эпоху  $t_0$ ;  $X_{yy}(t_c), Y_{yy}(t_c), Z_{yy}(t_c)$  – значение пространственных координат на эпоху  $t_c$ ;  $v_x, v_y, v_z$  – годовые скорости изменения координат.

Преобразование координат из ITRF-2005 в ITRF-2005, приведенные к одной эпохе можно выполнить по формуле 2:

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_B = (1 + m) \begin{pmatrix} 1 + w_z - w_y \\ -w_z & 1 + w_x \\ +w_y & -w_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}_A \quad (2)$$

где уравнение (2) содержит семь параметров связи – три линейных  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  (смещение начала системы Б относительно системы А), три угловых –  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  (углы разворота координатных осей) и масштабный коэффициент  $m$ .

Для решения задачи определение параметров связи ITRF-2014 и местной системы координат мы использовали 7 точек. Для этих точек были известны координаты в ITRF-2005 и МСК.

Перевычисление координат из ITRF-2005 в ITRF-2014 выполнялось с помощью онлайн-калькулятора представленном на сайте EUREF. EUREF – это международная организация, занимающаяся определением, реализацией и поддержанием Европейской системы отсчета - геодезической инфраструктуры для многонациональных проектов.

Далее для вычисления параметров перехода из ITRF-2014 в СК-42 использовалось бесплатное программное обеспечение компании Ракурс – «Вычисление 7 параметров». В результате вычислений были получены 7 параметров Гельмерта, которые включают в себя смещение начала пространственной системы координат, углы разворота осей пространственных систем координат и масштабный коэффициент. Результаты вычислений приведены на рисунке 2. На следующем этапе пространственные координаты преобразуются в плоские прямоугольные координаты в заданной проекции на плоскость.

Параметры проекции включают в себя долготу осевого меридиана, условное смещение начала местной системы координат по осям x и y. Определив эти параметры, можно выполнять преобразование координат с ITRF-2014 в МСК.

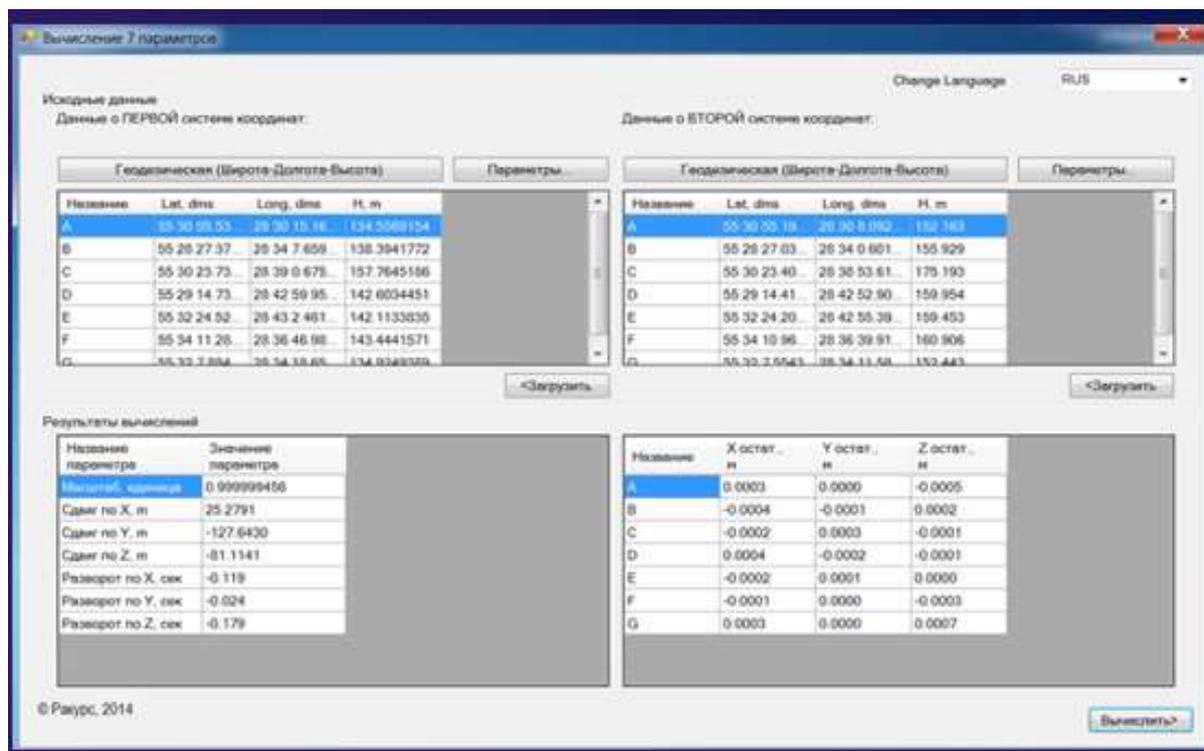


Рисунок 2- Вычисление параметров в программном продукте «Вычисление 7 параметров»

Для решения этой задачи есть простой и универсальный способ – библиотека PROJ.4. Библиотека поддерживает множество разных типов проекций включенных в реестр идентификаторов картографических проекций EPSG. На сегодняшний день реестр идентификаторов картографических проекций EPSG является стандартом и любая картографическая проекция, которая претендует быть включенной в ГИС, должна получить соответствующий уникальный номер в реестре.

Библиотека PROJ.4 является бесплатной и также реализована в виде онлайн калькулятора, представленном на сайте [2].

Для трансформирования координат, используя полученные параметры, необходимо составить текстовую строку. Строка proj состоит из спецификатора проекции, +proj, ряда параметров, которые применяются к проекции, и описания смещения датума.

Используя **PROJ.4** синтаксис, указывается полный набор параметров, включая эллипсоид, датум, единицы проекции и определение проекции, которые определяют конкретную референцную систему координат.

Каждый элемент обозначается знаком «+». После каждого «+» задается **определяемый элемент**. Например +proj= и +datum=.

Строка **proj4** собирается из отдельных компонентов (разделенные знаком «+»). Например:

- +proj = tmerc: поперечно-цилиндрическая проекция Меркатора

- **+ zone = 11:** зона 11.
- **datum = WGS84:** начало отсчета относится к опорной точке 0,0 для системы координат, используемой в проекции
- **+ ellps = WGS84:** эллипсоид для данных - WGS84

Для полученных параметров строка proj будет иметь вид:

```
+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=30 +k=1 +x_0=99559.404 +y_0=-6140215.016
+ellps=krass +towgs84=25.2791,-127.6430,-81.1141,0.119,0.024,0.179,-0.544
+units=m +no_defs +axis=neu
```

Где жирным шрифтом выделены параметры проекции, а подчеркнутым – вычисленные значения 7-ми параметров Гельмерта. При использовании онлайн-калькулятора, представленном на рисунке 3 строку из полученных параметров перехода копируем в окно справа.

Описание входной системы координат оставляем без изменений. Далее в окне слева вводим широту, долготу перевычисляемых точек и в окне справа получаем их координаты в МСК (рисунок 3).

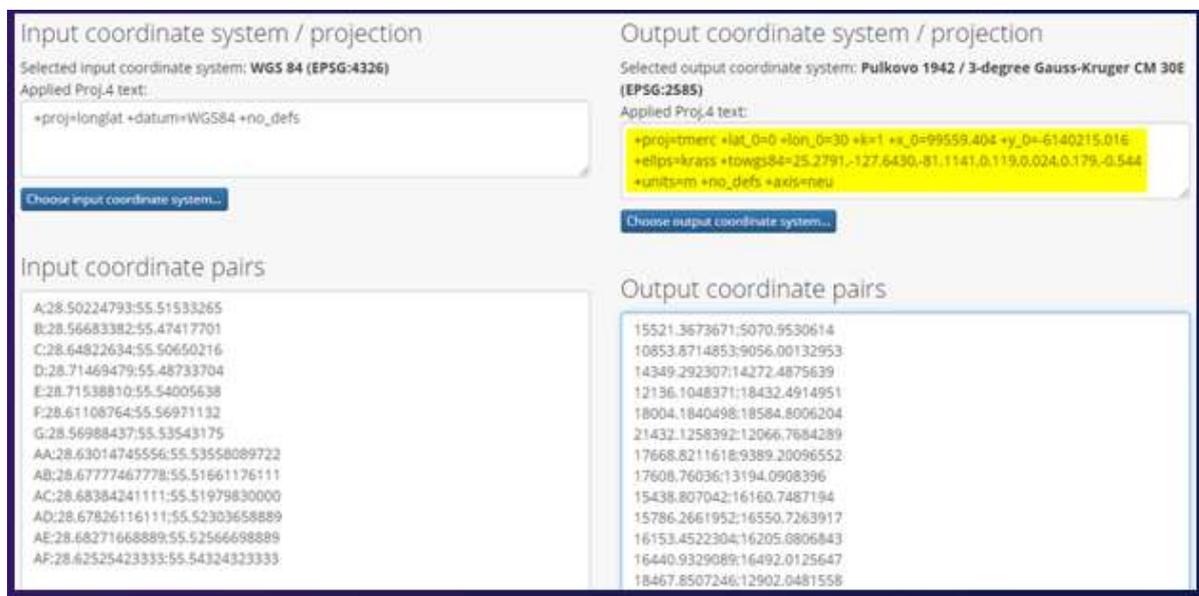


Рисунок 3- Преобразование координат с ITRF-2014 в МСК с использованием библиотеки PROJ.4

Схема размещения точек представлена на рисунке 4, где красным цветом показаны точки, по которым определялись элементы преобразования систем координат, а голубым цветом – точки, которые не участвовали в определении параметров связи (контрольные).

Таким образом, мы выполнили преобразования пространственных координат пунктов, полученных с использованием геодезических спутниковых приемников в местную систему координат.

Для контроля и оценки определения полученных параметров были вычислены разности координат контрольных точек. Результаты вычислений приведены в таблице 2.



Рисунок 4 – Схема размещения точек

Таблица 2 – Разности координат контрольных точек

№ точек	Разности координат контрольных точек	
	Dx, м	Dy, м
AA	-0,017	-0,004
AB	-0,005	0,039
AC	-0,038	0,020
AD	-0,014	-0,067
AE	-0,064	-0,008
AF	-0,033	0,036

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Широкое внедрение в практику топографо-геодезических работ современного оборудования и технологий привело к возникновению проблем, связанных с увязкой системы координат спутниковой геодезии с системами координат, применяемыми при решении прикладных задач геодезии.

2. Для корректного преобразования между реализациями систем отсчета ITRF необходимо знать скорости изменения координат в этих системах отсчета.

3. Разности координат на контрольных точках могут быть обусловлены:

Ошибкой определения координат базовой станции EFT «Новополоцк»;

Ошибками определения координат контрольных точек;

Деформациями сети полигонометрии г. Новополоцка.

Хорошая сходимость координат на контрольных пунктах, доказывает, что предложенный вариант получения параметров перехода от системы координат ITRF-2014 к МСК можно смело применять при выполнении отдельных видов топографо-геодезических работ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. International Terrestrial Reference Frame [Electronic resource]. Mode of access: [https://itrf.ign.fr/doc\\_ITRF/Transfo-ITRF2014\\_ITRFs.txt](https://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt)
2. MyGeodata Cloud [Electronic resource]. Mode of access: <https://mygeodata.cloud/cs2cs/> -  
Access date: 18.10.2021