

УДК 528.16:681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ PROJ4 ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ

Е. В. БИЗНЯ, А. А. ПАНКОВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В. В. ЯЛТЫХОВ)

В работе приводится краткое описание основных терминов, связанных с геодезическими системами отсчета координат, форматы их описания и методы операций с координатами. Рассматривается использование библиотеки PROJ4 для выполнения преобразования геопространственных координат из одной системы отсчета координат в другую. Исходя из этого сделали вывод о том, что библиотеку можно использовать при решении аналогичных задач.

Ключевые слова: система отсчета координат, трансформирование координат, датум, проекция, эллипсоид.

На сегодняшний день в Республике Беларусь геодезические работы выполняются в референсных системах отсчета координат, таких как СК-95, СК-63 или местных системах координат. Однако современное геодезическое оборудование базируется при использовании методов спутникового позиционирования, которое использует геоцентрические системы отсчета координат WGS84 или ITRS. Поскольку спутниковая навигация в настоящее время широко применима в геодезических работах, это требует производства математической модели преобразования из глобальной системы отсчета координат в локальные и наоборот.

Каждая система отсчета координат состоит из системы координат и параметра или набора параметров, которые определяют начало, масштаб и ориентацию системы координат. [1]. Исходные даты определяют связь системы координат с объектом для описания пространственного положения объекта на Земле (или поверхности близкой к ней) с помощью координат. Системы отсчета координат также могут быть определены путем преобразования из другой системы отсчета координат.

Проективная система отсчета координат – система отсчета координат, которая получена из основной геодезической системы отсчета преобразованием эллипсоидальных координат широты и долготы в прямоугольные координаты с использованием картографической проекции [1]. Картографическая проекция использует математически определенный способ, включающий набор формул и параметров, позволяющий получать отображение поверхности на плоскость. Помимо проекции, система координат включает географическую систему координат, единицы измерения и набор значений параметров, которые меняются в зависимости от типа проекции (сдвиг начала координат на север/восток, центральный меридиан и др.).

Референсные системы отсчета координат связаны с локальными референц-эллипсоидами (отсчетными эллипсоидами), принятыми в отдельной стране или ряде государств. В таких системах отсчета координат обычно применяют геодезическую (эллипсоидальную) систему координат, в которой положение точки в пространстве описывается координатами: геодезической широтой B , геодезической долготой L и геодезической высотой H . В референсных системах отсчета координат координаты могут быть представлены в двухмерной проективной системе прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера абсциссой x и ординатой y и одномерной высотной системой отсчета координат.

Операции с координатами позволяют изменять координаты при переходе от одной системы координат к другой. Различают два типа операций с координатами:

- преобразование координат из одной системы отсчета координат в другую, основанную на одних и тех же исходных геодезических датах;
- трансформирование координат из одной координатной системы в другую, основанную на различных исходных геодезических датах.

Параметры трансформирования обычно определяется эмпирическим путем.

Существует множество форматов, которые используются для описания референсных систем координат. Наиболее распространенными форматами являются:

- **proj.4**
- **EPSG**
- **формат Well-known Text (WKT)**

формат PROJ.4 strings – используют многие программные продукты для обработки пространственных данных, (например Raster, Rgdal, Qgis). Используя PROJ.4 синтаксис, указывается полный набор параметров, включая эллипс, датум, единицы проекции и определение проекции, которые определяют конкретную референсную 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 = utm:** проекция UTM
- **+ zone = 11:** зона 11.
- **datum = WGS84:** начало отсчета относится к опорной точке 0,0 для системы координат, используемой в проекции
- **+ units = m:** координаты указаны в МЕТРАХ.
- **+ ellps = WGS84:** эллипсоид для данных - WGS84

В результате получаем строку:

```
+proj=utm +zone=11 +datum=WGS84 +units=m +no_defs +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0
```

Также возможно использовать список кодов EPSG для определения референсной системы координат.

Набор данных геодезических параметров EPSG (также реестр EPSG) - это общедоступный реестр геодезических данных, систем пространственной привязки, земных эллипсоидов, преобразований координат и связанных единиц измерения. Каждому объекту назначается код EPSG между 1024-32767 [2]. Набор данных был первоначально создан European Petroleum Survey Group (EPSG) в 1985 году и был обнародован в 1993 году. В 2005 году организация EPSG была объединена с Международной ассоциацией производителей нефти и газа (IOGP) и стала Комитетом по геоматике. Однако название реестра EPSG было сохранено, чтобы избежать путаницы [3]. EPSG коды - 4-5 значные числа, которые представляют собой коды систем координат.

Если известны идентификаторы EPSG для двух систем отсчета координат, между которыми необходимо выполнить преобразование, то строка `proj4` будет иметь вид:

```
+init=epsg:4326 +to +init=epsg:25832
```

WKT (Well-known text) — текстовый формат представления векторной геометрии и описания систем координат.

Формат WKT был первоначально определен Open Geospatial Consortium (OGC) в 1999 году, а затем расширен в 2001 году. Этот формат иногда называют «WKT-1». С развитием модели системы координат и несовместимостью реализация в разном ПО формат подвергся пересмотру. Обновленный стандарт «Well-known text representation of coordinate reference systems», иногда называемый как «WKT 2», был принят OGC в 2015 году. Этот стандарт совместно публикуется Международной организацией по стандартизации как ISO 19162 : 2015.

Формат WKT может описывать не только географические системы координат, но также геоцентрические, вертикальные, временные и инженерные.

В примере ниже, WKT описывает двумерную географическую систему координат WGS84:

```
GEODCRS["WGS 84",
DATUM["World Geodetic System 1984",
ELLIPSOID["WGS 84", 6378137, 298.257223563, LENGTHUNIT["metre", 1]],
CS[ellipsoidal, 2],
AXIS["Latitude (lat)", north, ORDER[1]],
AXIS["Longitude (lon)", east, ORDER[2]],
ANGLEUNIT["degree", 0.0174532925199433]]
```

В настоящее время существует большое количество программных пакетов, которые выполняют преобразования координат, некоторые из них являются бесплатными и доступны в Интернете.

PROJ-это универсальное программное обеспечение, предназначенное для преобразования координат из одной системы координат в другую. PROJ использует лицензию MIT. Первоначально оно была выпущено в открытом доступе, но в скором времени была переведена под лицензию MIT.

PROJ может выполнять очень сложные преобразования во многих системах отсчета. Первоначально разработанный как инструмент для картографических проекций, PROJ со временем превратился в универсальный механизм преобразования координат, который позволяет выполнять как преобразования для картографических проекций, так и преобразование координат на геодезическом уровне высокой точности.

На данный момент библиотека PROJ4 является бесплатной для любых пользователей, которые получили копию этого программного обеспечения и связанную с ней файловую документацию. Также пользователи имеют право на пользование библиотекой без ограничений прав на использование, копирование, изменение, объединение, распространение информации.

Библиотека поддерживает множество разных типов проекций включенных в реестр идентификаторов картографических проекций EPSG. Но если предустановленных проекций недостаточно, то возможно определение и пользовательских проекций и систем координат.

PROJ предоставляет интерфейс прикладного программирования, или коротко API. API позволяет разработчикам использовать функциональные возможности PROJ в своем собственном программном обеспечении без необходимости самостоятельно реализовывать аналогичные функции.

Также PROJ включает приложения командной строки для преобразования координат из текстовых файлов или непосредственно из пользовательского ввода. Координатные операции в PROJ разделены на три группы: проекции, преобразования и трансформации.

Проекция - это чисто картографические отображения эллипсоида (сферы) на плоскость. Преобразования - это операции с координатами, которые не вызывают изменения в системе отсчета. Операции, которые действительно вызывают изменение в системе отсчета, называются преобразованиями.

PROJ поддерживает файлы CTable2, NTv1 и NTv2 для коррекции двухмерных эллипсоидальных систем отсчета, реализованные плановыми геодезическими сетями.

Вертикальный сдвиг осуществляется путем смещения вертикальных входных координат на определенную величину, определяемую загруженными моделями геоида, например, глобальную модель геоида EGM2008.

Библиотека PROJ.4 также реализована в виде онлайн-калькулятора, представленном на сайте [4].

Возьмем в качестве примера известный пересчет координат из [5] и пересчитаем в онлайн-калькуляторе из геодезической эллипсоидальной системы координат в пространственные прямоугольные в проекции Гаусса-Крюгера:

Исходные данные:

Таблица 1

B	48°40'57"
L	85°58'50"

Для того, чтобы пересчитать в онлайн-калькуляторе требуется ввести в окно входную систему координат. В нашем случае получается:

```
+proj=longlat +ellps=krass +no_defs
```

где +proj=longlat – ввод (вывод) широты/долготы

+ellps=krass - система координат относится к эллипсоиду Крассовского

Выходная система будет иметь вид:

```
+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=87 +k=1 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=krass +units=m +no_defs +axis=neu
```

где +proj=tmerc - проекция Transverse Mercator (поперечно-цилиндрическая Меркатора). Проекция Гаусса — Крюгера — поперечная цилиндрическая равноугольная картографическая проекция, которая является частным случаем поперечно-цилиндрической Меркатора.

Далее определяем параметры проекции:

```
+lat_0=0 +lon_0=87 +k=1 +x_0=0 +y_0=0
```

+lat_0 +lon_0=87 – начало координат и долгота осевого меридиана. Для выбранного примера +lat_0=0, а +lon_0=87 (87 – это долгота осевого меридиана для 15 зоны).

+k=1 - масштаб на осевом меридиане (для проекции Гаусса- Крюгера равен 1)

Параметр +axis=neu определяет порядок вывода плоских прямоугольных координат.

Результаты вычислений приведены на рис.1.

Сравнив полученный результат со значениями из [5] ($x=5394927.996$; $y=-75062.810$), можно видеть, что полученные значения координат совпали до миллиметров.

Выполним преобразования тех же значений геодезических координат в пространственные с использованием библиотеки PROJ. Вместе с PROJ поставляется набор небольших утилит командной строки. Программа **proj** ограничена преобразованием географических координат и координат проекции в пределах одной системы координат. Программа **cs2cs** работает аналогично, но допускает перевод между любой парой определяемых систем координат, включая поддержку преобразования датума.

Программа **cs2cs** требует определения двух систем координат. Первая определяется на основе всех параметров системы координат и проекции, аналогично, как и в онлайн-калькуляторе. Все параметры проекции, появляющиеся после аргумента + to, считаются определением второй системы координат. Также возможно указать формат выходных значений (%.3f – количество значащих цифр дробной части) и текстовый файл с исходными данными.

Input coordinate system / projection Selected input coordinate system: Unknown datum based upon the Krassowsky 1940 ellipsoid (EPSG:4024) Applied Proj.4 text: <input type="text" value="+proj=longlat +ellps=krass +no_defs"/> <input type="button" value="Choose input coordinate system..."/>	Output coordinate system / projection Selected output coordinate system: Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 15 (EPSG:28415) Applied Proj.4 text: <input type="text" value="+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=87 +k=1 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=krass +units=m +no_defs +axis=neu"/> <input type="button" value="Choose output coordinate system..."/>
Input coordinate pairs <input 48d40'57.389"n"="" e="" type="text" value="85d58'50.261"/>	Output coordinate pairs <input type="text" value="5394927.9962;-75062.8102598"/>

Рисунок 1. – Преобразование координат в онлайн-конвертере

Результаты вычислений приведены на рис.2.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
d:\010101\Proj44>cs2cs -f "%.3f" +proj=longlat +ellps=krass +no_defs +to +proj=geocent +ellps=krass +units=m +no_defs
-E -r aaaa.blh
48d40'57.389"N 85d58'50.261"E 245.734 295742.461 4208863.894 4767597.353
  
```

Рисунок 2. – Преобразование координат с использованием программы cs2cs

Сравнив полученный результат со значениями из [5] ($X=295742.459$; $Y=4208863.890$; $Z=4767597.349$), можно видеть, что полученные значения координат совпали с точностью 3-4 мм.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что реализация библиотеки PROJ4 в виде он-лайн-калькулятора и утилита командной строки **cs2cs** выполняют вычисления верно и ее можно использовать в решении аналогичных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по преобразованию координат: ГКНП 06-008-2011. – введ. РБ 01.04.2011. – Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2011. – 54 с.
2. Internet archive WaybackMachine [Electronic resource] - Mode of access: https://proceedings.esri.com/library/userconf/petro113/papers/petro1_10.pdf
3. Featured events [Electronic resource] - Mode of access: <https://web.archive.org/web/20191231034436/http://www.epsg.org/Portals/0/373-07-1.pdf>
4. MyGeodata Cloud [Electronic resource] - Mode of access: <https://mygeodata.cloud/cs2cs/>
5. Телеганов, Г.Н. Метод и системы координат в геодезии: учеб.-пособие/ Г.Н. Телеганов, Г.Н. Тетерин. – Новосибирск : СГГА. – 2008. – 139 с.