

Добавление местной координатной системы в GIS

[Обсудить в форуме](#) Комментариев — 15

Эта страница опубликована в основном списке статей сайта по адресу <http://gis-lab.info/qa/local-cs.html>

Конструирование проекций, имитирующих местные координатные системы, в GIS и навигационном ПО

Содержание

- [1 Введение](#)
- [2 Постановка задачи](#)
- [3 Подготовка данных](#)
- [4 Переходная проекция](#)
- [5 Косая проекция Меркатора](#)
- [6 Проекция Гаусса-Крюгера](#)
 - [6.1 Долгота осевого меридиана](#)
 - [6.2 Масштаб проекции](#)
 - [6.3 Координаты в начальной точке проекции](#)
 - [6.4 Альтернативный набор параметров](#)
- [7 Коническая равноугольная проекция Ламберта](#)
 - [7.1 Долгота центрального меридиана](#)
 - [7.2 Масштаб проекции](#)
 - [7.3 Координаты в начале проекции](#)
- [8 Косая стереографическая проекция](#)
- [9 Заключение](#)
- [10 Примечания](#)
- [11 Ссылки](#)

Введение

Под местной системой координат (МСК) будет подразумеваться так называемая «городская» система, построенная независимо от государственной системы (ГСК) и включенная в неё [заданием ключей перехода к СК-42 или СК-63](#). МСК крупных территорий, сравнимых с размерами субъектов Федерации, не являются предметом данной статьи, поскольку относятся к классическим картографическим проекциям.

Характерная особенность МСК — за редкими исключениями небольшие углы разворота. Для малых населённых пунктов это достигалось ориентированием по магнитной буссоли с введением поправки за магнитное склонение. Погрешность при этом обычно находится в пределах одного–двух градусов. Для крупных городов ориентация могла выполняться на основе астрономических наблюдений. Если в таком случае намеренно или случайно расположить центр преобразования вблизи меридиана астропункта, то угол разворота не превысит величины в несколько угловых секунд.

Постановка задачи

Имеется множество пунктов, для которых известны координаты X, Y в ГСК и x, y в МСК. Требуется подобрать проекцию и вычислить её параметры, удовлетворительно представляющую МСК в ГИС. При подборе

параметров предполагается использовать один из пунктов в качестве центральной точки преобразования.

Некоторые программы позволяют реализовать работу в МСК непосредственно. Так, в MapInfo любая проекция может быть дополнена аффинным преобразованием. ArcGIS в качестве МСК предлагает локальную проекцию: аналог ортографической проекции на эллипсоиде, дополненный разворотом и масштабированием.

Другие программы, включая QGIS, работают только с «обыкновенными» проекциями, не допуская дополнительных геометрических преобразований. Задача статьи — показать, как можно конструировать проекции, позволяющие имитировать МСК в таких средах, как QGIS или, скажем, бортовой софт приёмников GARMIN.

Поле экспериментов будут равноугольные проекции, поскольку именно они используются в геодезии благодаря свойству сохранения форм.

В качестве рабочей среды будем использовать командную строку UNIX. Это идеальный инструмент для экспериментирования, позволяющий непринуждённо сочетать PROJ.4, [findkey](#) и утилиты обработки текстовых потоков.¹

Подготовка данных

Тестовый пример основан на сгенерированных данных. В таблице X, Y — координаты пункта в государственной системе (ГСК), а именно в седьмой зоне СК-42, x, y — координаты в местной системе (МСК), p — вес пункта.

ID	X	Y	x	y	p
1	7383477.64	6087377.60	1334.71	285.94	1.0
2	7382557.14	6081916.51	563.67	-5197.34	1.0
3	7386610.19	6088160.39	4444.27	1153.79	1.0
4	7381962.05	6090016.34	-252.07	2881.90	1.0

Подготовим файл исходных данных **data0.dat**:

```
1 7383477.64 6087377.60 1334.71 285.94 1.0
2 7382557.14 6081916.51 563.67 -5197.34 1.0
3 7386610.19 6088160.39 4444.27 1153.79 1.0
4 7381962.05 6090016.34 -252.07 2881.90 1.0
```

Убедимся в однородности данных обоих каталогов. Для этого вычислим параметры конформного преобразования:

```
$ findkey data0.dat key0.dat var0.dat
```

Сами по себе параметры нас не интересуют. Важны величины невязок, выведенных в файл **var0.dat**:

```
1 ... -0.002 -0.001
2 ... -0.017 0.013
3 ... 0.031 0.017
4 ... -0.012 -0.029
```

Малые значения невязок говорят о том, что данные достаточно хороши, чтобы с ними работать.

Пересчитаем координаты из ГСК в долготу/широту:

```
$ awk '{print $2, $3}' data0.dat | proj -I -f "%.9f" +proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=39
+k=1 +x_0=7500000 +y_0=0 +ellps=krass > pt_longlat.dat
```

Команда **awk** извлекает из файла **data0.dat** вторую и третью колонки и передаёт их утилите **proj**, которая пересчитывает координаты из седьмой зоны СК-42 в долготу/широту и записывает результаты в файл **pt_longlat.dat**:

```
37.183749701 54.896961118
37.171630976 54.847714659
37.232243035 54.904709276
37.159058387 54.920296878
```

Переходная проекция

Создадим в качестве переходной проекцию Гаусса-Крюгера, осевой меридиан и начальная параллель которой пересекаются в первом пункте, а координаты в этой точке совпадают с координатами МСК этого пункта. Вычислим координаты в переходной проекции и запишем их в файл **pt_tmerc.dat**:

```
$ proj -f "%.4f" +proj=tmerc +lat_0=54.896961118 +lon_0=37.183749701 +k=1 +x_0=1334.71
+y_0=285.94 +ellps=krass pt_longlat.dat > pt_tmerc.dat
```

Содержимое **pt_tmerc.dat**:

```
1334.7100 285.9400
556.2353 -5196.2593
4445.4005 1149.5698
-248.5461 2884.0431
```

Подготовим входной файл **data1.dat** для **findkey**. Нужно на место второй и третьей колонок в **data0.dat** записать данные **pt_tmerc.dat**.

```
$ paste data0.dat pt_tmerc.dat | awk '{print $1, $7, $8, $4, $5, $6}' > data1.dat
```

Команда **paste** построчно объединяет данные из шести колонок **data0.dat** и двух колонок **pt_tmerc.dat** в общую строку, команда **awk** выводит в **data1.dat** нужные колонки в нужном же порядке:²

```
1 1334.7100 285.9400 1334.71 285.94 1.0
2 556.2353 -5196.2593 563.67 -5197.34 1.0
3 4445.4005 1149.5698 4444.27 1153.79 1.0
4 -248.5461 2884.0431 -252.07 2881.90 1.0
```

Нетрудно заметить, что координаты первого пункта в переходной проекции совпадают с таковыми в МСК. Для остальных пунктов это не так, что говорит о наличии масштабирования и разворота. Убедимся в этом:

```
$ findkey data1.dat key1.dat var1.dat
```

Содержимое **key1.dat**:

```
0.390
-1.813
1.0000052644
0.0013554914
1.0000061831
+0.07766348
```

Первые четыре параметра — a_0 , b_0 , a_1 , b_1 , оставшиеся два — масштабный множитель m и разворот ϑ в градусах.

Косая проекция Меркатора

Всё готово для конструирования косой проекции Меркатора. Зададим, как для переходной проекции, долготу и широту первого пункта в качестве начальных, его координаты в МСК в качестве «фальшивых». Кроме того, перенесём масштаб конформного преобразования в масштаб проекции, а разворот — в азимут линии минимального масштаба. Вычислим координаты в этой проекции и запишем в файл **pt_omerc.dat**:

```
$ proj -f "%.4f" +proj=omerc +lat_0=54.896961118 +lonc=37.183749701 +alpha=0.07766348  
+gamma=0 +k=1.0000061831 +x_0=1334.71 +y_0=285.94 +ellps=krass pt_longlat.dat >  
pt_omerc.dat
```

Вычислим параметры конформного преобразования для **pt_omerc.dat**: $m = 1.0000000000$, $\vartheta = -0.00000022^\circ = -0.0008''$. Практически масштаб сведён к единице, разворот к нулю, а вычисленные из значений долготы/широты координаты совпадают с координатами, заданными в МСК. Таким образом, проекция, эквивалентная МСК, построена.

Следует заметить, что многие программы (например, MapInfo) используют косую проекцию Меркатора в версии Хотина, когда началом координат служит точка пересечения линии минимального масштаба с экватором. Азимут линии и плоские координаты в этой точке, естественно, отличаются от заданных нами, и понадобятся дополнительные вычисления для их определения.

Реализация косой проекции Меркатора в PROJ.4 имеет одну особенность: программы просто не работают со значениями параметра **alpha** 0 или 90° . Если угол разворота очень мал (скажем, несколько угловых секунд), следует использовать проекцию Гаусса-Крюгера.

Проекция Гаусса-Крюгера

Встречаются программы, набор проекций в которых ограничен. Проекция Гаусса-Крюгера — она же Transverse Mercator — найдётся в самом бедном наборе. В приёмниках GARMIN пользовательская система координат может быть задана только в этой проекции.

Долгота осевого меридиана

Если угол разворота не превышает первых десятков угловых минут, можно компенсировать его переносом осевого меридиана в сторону и не бояться потери геодезической точности. Даже первые градусы не должны существенно повлиять на навигационные приложения. Дальнейшее увеличение угла приводит к стремительному росту градиента масштаба в направлении запад-восток и, следовательно, искажению подобия фигур.

В нашем примере разворот оказался небольшим: $\vartheta = 0.07766348^\circ = 0^\circ 04' 39.59''$. Значит, в данном случае на основе проекции Гаусса-Крюгера можно создать довольно точный аналог МСК.

Предварительное значение перемещения осевого меридиана можно оценить по формуле:

$$\Delta L = -\arctg \frac{\operatorname{tg} \vartheta}{\sin B}$$

где ΔL — перенос осевого меридиана, ϑ — угол разворота, B — широта первого пункта. Получаем $\Delta L = -0.0949292655$, $L = 37.0888204345$. Построим проекцию Гаусса-Крюгера на основе переходной, подставив L в долготу осевого меридиана и нули в «фальшивые» координаты:

```
$ proj -f "%.4f" +proj=tmerc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0888204 +k=1 +x_0=0 +y_0=0  
+ellps=krass pt_longlat.dat > pt_tmerc.dat
```

Последующее вычисление параметров конформного преобразования выдаёт сравнительно большой угол разворота. Однако уже после второй итерации с $L = 37.0888079$ получаем $m = 1.0000057306$, $\vartheta = +0.00000044$.

Масштаб проекции

Перенесём m в масштаб проекции:

```
+proj=tmerc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0888079 +k=1.00000573 +x_0=0 +y_0=0
+ellps=krass
```

Вновь вычислим параметры конформного преобразования. Теперь $m = 1.0000000039$, т.е. практически единица.

Координаты в начальной точке проекции

Наконец обратим внимание на первичные параметры $a_0 = -4756.693$ и $a_1 = 281.807$. Перенесём их значения в параметры проекции x_0 и y_0 :

```
+proj=tmerc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0888079 +k=1.00000573 +x_0=-4756.69 +y_0=281.81
+ellps=krass
```

Проекция создана.

Альтернативный набор параметров

Пользовательская проекция старых моделей навигаторов GARMIN допускает ограниченный набор параметров. В ней не используется lat_0 . Компенсируем его отсутствие коррекцией y_0 . Напишем и запустим скрипт:

```
proj -f "%.4f" +proj=tmerc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0888079 +k=1.00000573 +x_0=-
4756.69 +y_0=281.81 +ellps=krass <<EOF
37.0888079 0
EOF
```

Вывод скрипта даёт координаты пересечения осевого меридиана с экватором:

```
-4756.6900 -6085619.5031
```

Вот эквивалентный набор параметров:

```
+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=37.0888079 +k=1.00000573 +x_0=-4756.69 +y_0=-6085619.50
+ellps=krass
```

Может возникнуть вопрос, почему нельзя было сразу начать со значения $lat_0 = 0$, а не с параллели первого пункта? Ответ прост: устойчивые решения получаются только в окрестности заданных пунктов, и перенос начала координат на экватор должен быть выполнен в самом конце.

Коническая равноугольная проекция Ламберта

Эта проекция по использованию в геодезии занимает второе место после проекции Гаусса-Крюгера. Она, в отличие от последней, предоставляет полную свободу в выборе центрального меридиана, поскольку градиент масштаба вдоль параллели равен нулю.

Редко встречается бочка мёда без ложки дёгтя. Некоторые программы (MapInfo, например) предоставляют возможность задания этой проекции только в варианте с двумя стандартными параллелями, в то время как нам нужна единственная стандартная параллель, проходящая через выбранный пункт. По единственной стандартной параллели и масштабу на ней можно вычислить две стандартные широты тогда и только тогда, когда масштаб на единственной параллели меньше единицы. В общем, возможность имитации МСК таким вариантом с двумя стандартами 50:50.

К счастью, PROJ.4 не имеет этого досадного ограничения, и коническая равноугольная проекция Ламберта является неплохим вариантом создания аналога МСК для QGIS.

Долгота центрального меридиана

По развороту $\vartheta = 0.07766348^\circ$ определим величину переноса центрального меридиана:

$$\Delta L = -\frac{\theta}{\sin B}$$

Получим $\Delta L = -0.0949292942$, $L = 37.0888204068$. Запишем L в долготу центрального меридиана, нули в x_0 и y_0 :

```
$ proj -f "%.4f" +proj=lcc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0888204 +lat_1=54.8969611 +k_0=1  
+x_0=0 +y_0=0 +ellps=krass pt_longlat.dat > pt_lcc.dat
```

Через пять итераций приходим к значению $lon_0 = 37.0824027$, при котором ϑ практически сводится к нулю.

Масштаб проекции

Полученное последним значение $m = 1.00002378$ запишем в параметр k_0 :

```
+proj=lcc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0824027 +lat_1=54.8969611 +k_0=1.00002378 +x_0=0  
+y_0=0 +ellps=krass
```

Координаты в начале проекции

Вновь вычислим параметры конформного преобразования и перенесём $a_0 = -5167.777$ и $a_1 = 281.494$ в параметры проекции x_0 , y_0 :

```
+proj=lcc +lat_0=54.8969611 +lon_0=37.0824027 +lat_1=54.8969611 +k_0=1.00002378 +x_0=-  
5167.78 +y_0=281.49 +ellps=krass
```

Проекция готова. Невязки по результатам конформного преобразования достигают десяти сантиметров, что почти на порядок больше невязок для проекций Гаусса-Крюгера и косой Меркатора. Возможно, этого следовало ожидать, поскольку местная система координат построена на основе проекции Гаусса-Крюгера.

Косая стереографическая проекция

Эта проекция занимает незаслуженное третье место по широте использования геодезистами. Причина этого, возможно, кроется в вычислительных трудностях докомпьютерной эпохи: коническая равноугольная Ламберта выгодно отличается аскетической простотой формул, а проекция Гаусса-Крюгера — возможностью построения координатных таблиц, одинаковых для любой зоны. Между тем, если бы речь шла о создании МСК на пустом месте, а не об имитации уже созданной на основе другой проекции, то именно стереографическая является идеальным воплощением мечты о конформной проекции, искажения в которой минимальны на краях территории произвольной формы.

Можно реализовать имитацию МСК нашего примера на основе стереографической проекции. Если бы PROJ.4 включало параметр разворота, это было бы так же просто, как и реализация на основе косой проекции Меркатора. Следует ожидать, что при этом невязки были бы вдвое меньше, чем в реализации на основе конической равноугольной проекции Ламберта.

Отсутствие параметра разворота заставляет пойти по пути, дважды пройденному выше: перенос осевого меридиана для компенсации разворота, задание масштаба проекции, коррекция плоских координат. Оставим реализацию в качестве упражнения для любителей вычислений.

Заключение

Рассмотрена возможность имитации МСК с использованием практически всех конформных проекций, широко используемых в геодезии: косой Меркатора, Гаусса-Крюгера, конической равноугольной Ламберта, косой стереографической. Для практического применения в QGIS рекомендуется косая проекция Меркатора. Если программное обеспечение не позволяет реализовать эту проекцию, либо угол разворота мал, предпочтительной является проекция Гаусса-Крюгера.

Примечания

1. [↑](#) Команды примера воспроизводятся в среде MSYS, что входит в состав QGIS под MS Windows. Две особенности:
 - в старых системах нужно заменить команду **awk** на **gawk**, или лучше в системе определить **awk** как синоним **gawk**;
 - после некоторых команд (**proj**, **pr**) придётся добавить в пайп команду удаления лишних символов CR:

```
| tr -d '\r'
```

2. [↑](#) Также можно использовать утилиту **pr** (после **-s** два пробела!):

```
$ pr -m -t -s\ data0.dat pt_tmerc.dat | awk '{print $1, $7, $8, $4, $5, $6}' >  
data1.dat
```

Ссылки

- [Map Projections — A Working Manual, Snyder J. P., USGS Professional Paper 1395, 1987](#)
- [Coordinate Conversions and Transformations including Formulas, EPSG Guidance Note 7, 2002](#)
- [Projections Transform List](#)
- [Справка ArcGIS 10.1 — Локальная проекция Декартовой системы координат](#)
- [man proj – PROJ.4](#)
- [Конформное преобразование](#)

[Обсудить в форуме](#) Комментариев — 15

Последнее обновление: 2014-11-20 15:07

Дата создания: 9.03.2013

Автор(ы): [ErnieBoyd](#)