

Руководство по использованию матрицы трансформации для пересчета координат в ГИС-приложениях

Роман Сермягин

14 марта 2025 г.

1 Введение

В данном документе описывается использование матрицы (далее – «сетка») трансформации для пересчета координат в ГИС-приложениях и стандартном вводе-выводе командной строки.

Сетка трансформации используется для пересчета геодезических координат из одной системы координат в другую. В данном документе описывается использование сетки трансформации для пересчета координат из системы координат СК-42 в систему координат QazTRF-23.

2 Описание матрицы трансформации

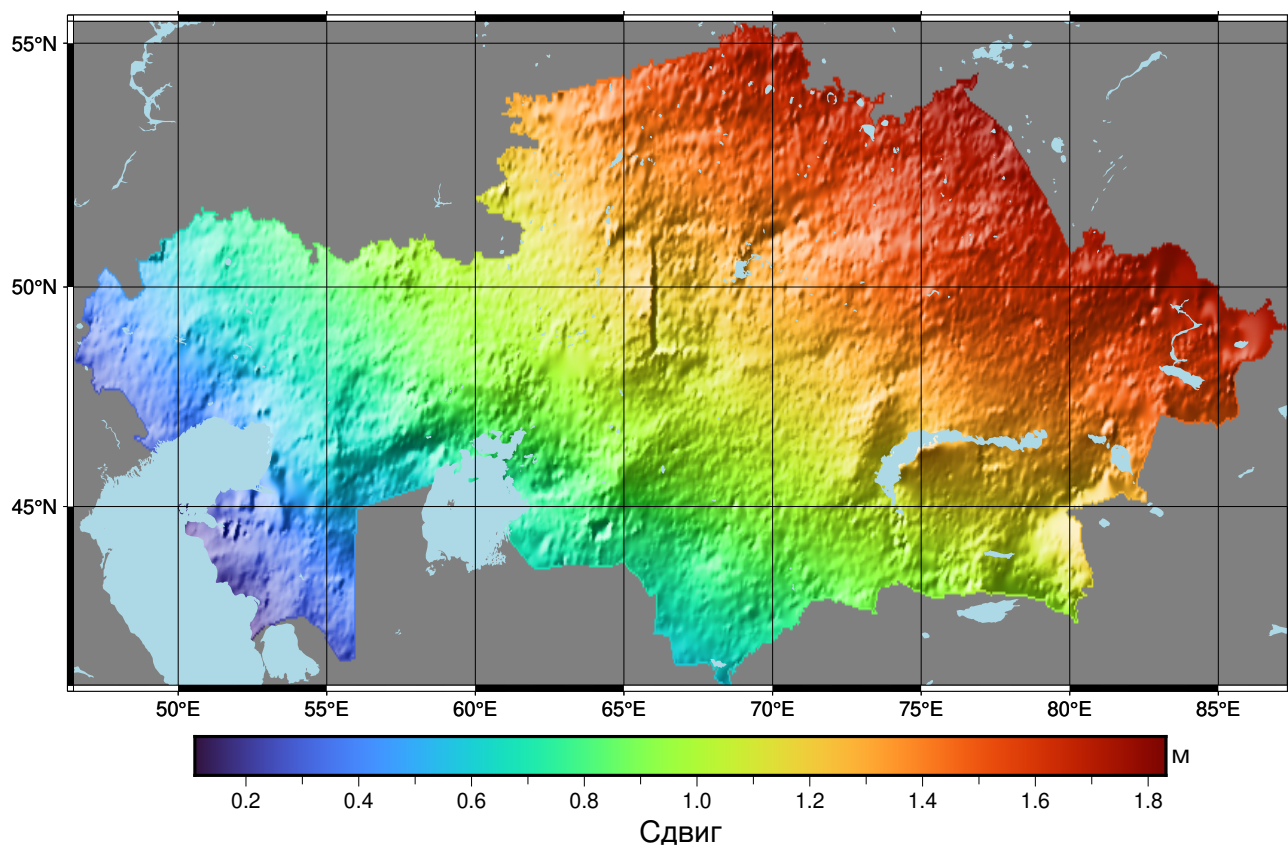
Сетка трансформации представляет собой двухполосную регулярную сетку в формате GeoTIFF, в узлах которой записаны поправки, представляющие собой сдвиг геодезических координат.

Параметры сетки представлены в табл. 1.

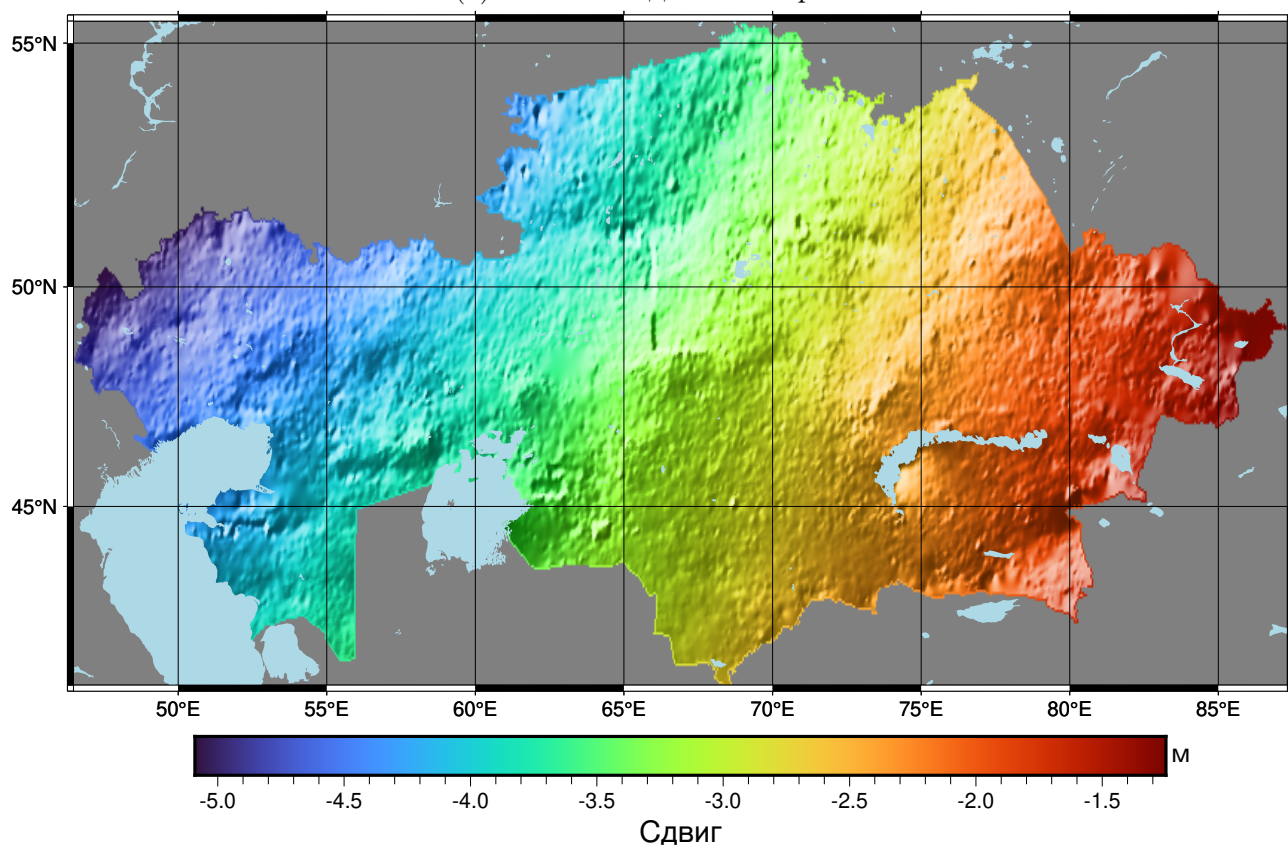
Таблица 1: Параметры сетки трансформации

Параметр	Значение
Формат файла	GeoTIFF
Название файла	QazTRF_2025xxxx_kz.tif
Размер ячейки	0.05 ° (градусы дуги)
Размер сетки	817×299
Диапазон	46.475×87.325 ° в. д. 40.525×55.475 ° с. ш.
Единицы измерения ячеек	" (секунды дуги)
Минимальное/максимальное значение	0.109/1.832 " широты -5.091/-1.248 " долготы
Исходная система координат	СК-42
Целевая система координат	QazTRF-23

На рис. 1 показаны сдвиги геодезических координат между системами координат СК-42 и QazTRF-23.



(a) Полоса 1: сдвиг по широте



(b) Полоса 2: сдвиг по долготе

Рис. 1: Сдвиги геодезических координат

3 Использование сетки трансформации

Использование сетки трансформации заключается в получение поправок в географические координаты для любой точки, в пределах которой находится сетка. Поправки вычисляются методом интерполяции, основанным на значениях узлов сетки. Как правило, все современные ГИС-приложения, поддерживают такой тип трансформации.

Ниже представлены инструкции по установке сетки трансформации в систему и ее использованию в ГИС-приложении QGIS и командной строке.

3.1 Установка сетки в систему

Одним из наиболее удобных способов применения сетки трансформации является использование библиотеки PROJ [2], на основе которой работают многие ГИС-приложения, включая QGIS [3].

3.1.1 Установка сетки в систему Windows

Для установки сетки трансформации в систему Windows выполните следующие шаги:

1. Убедитесь, что ГИС-приложение QGIS установлено на вашем компьютере и корректно работает.
2. Скопируйте файл сетки `qazgrid.tif` трансформации в каталог модуля `proj`. В зависимости от версии QGIS и способа установки, путь к каталогу `proj` может отличаться, например:

`C:\Program Files\QGIS 3.xx.x\share\proj\`

или

`C:\OSGeo4W\share\proj\`

3.1.2 Установка сетки в систему GNU/Linux

Для установки сетки трансформации в систему GNU/Linux выполните следующие шаги:

1. Убедитесь, что ГИС-приложение QGIS установлено на вашем компьютере и корректно работает.
2. Скопируйте файл сетки `qazgrid.tif` трансформации в каталог модуля `proj`. В зависимости от версии QGIS и способа установки, путь к каталогу `proj` может отличаться, например:

`/usr/share/proj/`

3.2 Использование сетки в ГИС-приложении QGIS

Применение параметров трансформации в ГИС-приложении QGIS выполняется «на лету». Для этого для каждого слоя должны быть заданы параметры проекции, соответствующие координатам его геометрии. Координатной системой назначения является текущая система координат, выбранная для проекта.

Ниже представлены инструкции по созданию пользовательских проекций на основе сетки трансформации и их использованию в ГИС-приложении QGIS.

3.2.1 Настройка пользовательской системы координат

Для использования сетки трансформации в ГИС-приложении QGIS необходимо создать пользовательскую систему координат. В зависимости от того, в какой системе представлены исходные координаты, настройки будут отличаться.

Географические координаты: для настройки пользовательской системы, применяемой для исходных географических координат (широта, долгота) необходимо выполнить следующие шаги:

1. Запустите ГИС-приложение QGIS.
2. Откройте меню «Настройки» и выберите один из пунктов: «Пользовательские проекции» или «Параметры» 2.

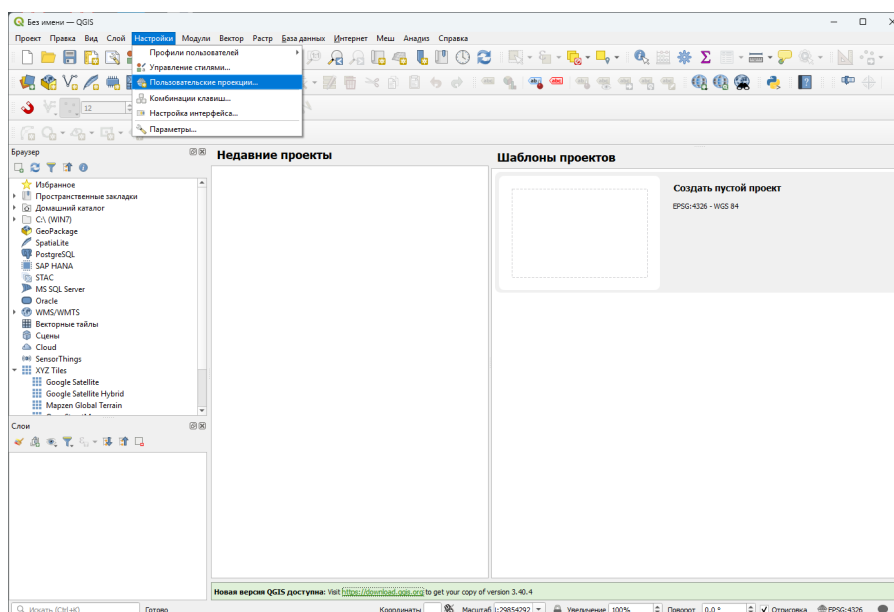


Рис. 2: Выбор меню «Пользовательские настройки»

3. В открывшемся окне выберите пункт «Заданные пользователем СК» во вкладке «Системы координат и преобразования».
4. Нажмите кнопку «Добавить».
5. Введите название системы координат, например, «QazTRF-23».
6. В поле «Параметры» введите параметры проекции в формате PROJ.4. или WKT (см. рис. 3):

(a) В формате PROJ.4:

```
1 +proj=longlat +ellps=krass +nadgrids=qazgrid.tif +no_defs +type=crs
```

(b) В формате WKT:

```
1 BOUNDCRS [  
2     SOURCECRS [  
3         GEOGCRS ["unknown",  
4             DATUM ["Unknown based on Krassovsky, 1942 ellipsoid using  
               nadgrids=qazgrid.tif",  
5             ELLIPSOID ["Krassovsky, 1942", 6378245, 298.3,
```

```

6         LENGTHUNIT["metre",1,
7             ID["EPSG",9001]]],
8     PRIMEM["Greenwich",0,
9         ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
10        ID["EPSG",8901]],
11    CS[ellipsoidal,2],
12        AXIS["longitude",east,
13            ORDER[1],
14            ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433,
15                ID["EPSG",9122]]],
16        AXIS["latitude",north,
17            ORDER[2],
18            ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433,
19                ID["EPSG",9122]]]]],
20    TARGETCRS [
21        GEOGCRS["WGS 84",
22            DATUM["World Geodetic System 1984",
23                ELLIPSOID["WGS 84",6378137,298.257223563,
24                    LENGTHUNIT["metre",1]]],
25            PRIMEM["Greenwich",0,
26                ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
27            CS[ellipsoidal,2],
28                AXIS["latitude",north,
29                    ORDER[1],
30                    ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
31                AXIS["longitude",east,
32                    ORDER[2],
33                    ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
34                ID["EPSG",4326]]],
35        ABRIDGEDTRANSFORMATION["unknown to WGS84",
36            METHOD["NTv2",
37                ID["EPSG",9615]],
38            PARAMETERFILE["Latitude and longitude difference file","
qazgrid.tif",
39                ID["EPSG",8656]]]]

```

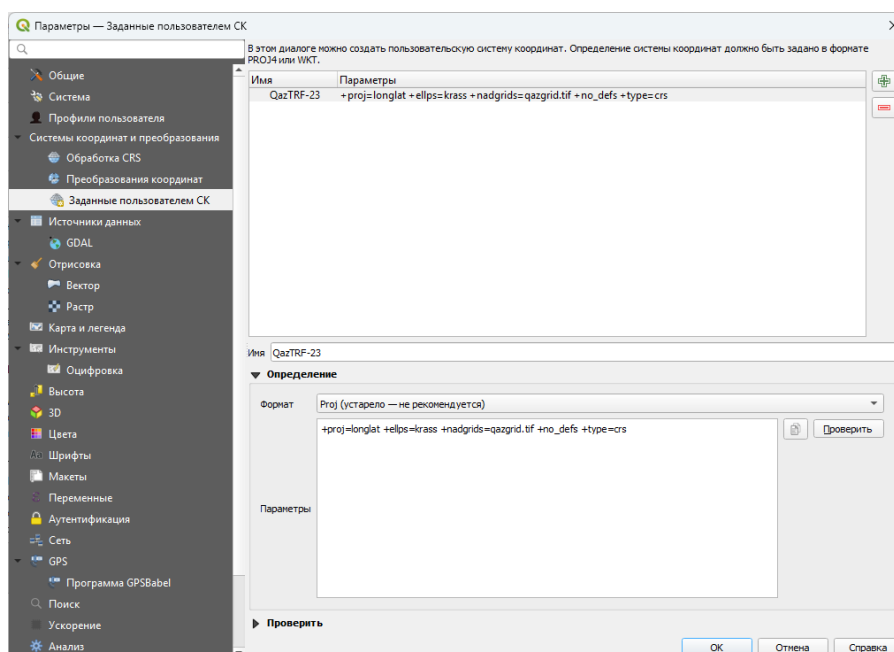


Рис. 3: Задание пользовательской системы координат

7. Для проверки корректности введенного кода нажмите «Проверить». При отсутствии ошибок выйдет сообщение «Описание проекции в формате Proj корректно.» (см. рис. 4).

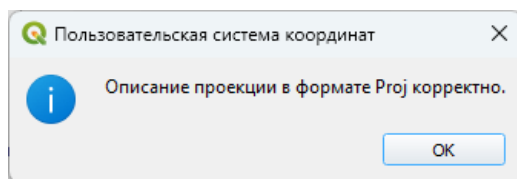


Рис. 4: Проверка кода

8. Для проверки корректности работы параметров проекции, раскройте вкладку «Проверить» и введите координаты в соответствующие поля «широта» и «долгота» (см. рис. 5).

Рис. 5: Проверка параметров проекции

Координаты в проекции Гаусса-Крюгера: для настройки пользовательской системы, применяемой для исходных координат в проекции Гаусса-Крюгера необходимо выполнить следующие шаги:

1. Запустите ГИС-приложение QGIS.
2. Откройте меню «Настройки» и выберите один из пунктов: «Пользовательские проекции» или «Параметры».
3. В открывшемся окне во вкладке «Системы координат и преобразования» выберите пункт «Заданные пользователем СК».
4. Нажмите кнопку «Добавить».
5. Введите название системы координат, например, «QazTRF-23 Gauss-Kruger Zone ZZ», где ZZ – номер зоны, который определяется по первым цифрам горизонтальных координат точки.
6. В поле «Параметры» введите параметры проекции в формате PROJ.4. или WKT, например:

(a) В формате PROJ.4:

```
1 +proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=XX +k=1 +x_0=ZZ500000 +y_0=0 +ellps=krass
2 +nadgrids=qazgrid.tif +units=m +no_defs +type=crs
```

где XX – осевой меридиан, вычисляемый по формуле $XX = ZZ \cdot 6 - 3$, а $x_0=ZZ500000$ – сдвиг 500 км на запад от осевого меридиана для данной зоны. Например, для зоны ZZ = 10 осевой меридиан $+lon_0=57$, а сдвиг $+x_0=10500000$.

(b) В формате WKT:

```
1 BOUNDCRS [  
2     SOURCECRS [  
3         PROJCRS ["unknown",  
4             BASEGEOGCRS ["unknown",  
5                 DATUM ["Unknown based on Krassovsky, 1942 ellipsoid  
6                     using nadgrids=qazgrid.tif",  
7                         ELLIPSOID ["Krassovsky, 1942",6378245,298.3,  
8                             LENGTHUNIT ["metre",1,  
9                                 ID ["EPSG",9001]]],  
10                            PRIMEM ["Greenwich",0,  
11                                ANGLEUNIT ["degree",0.0174532925199433],  
12                                    ID ["EPSG",8901]]],  
13                            CONVERSION ["unknown",  
14                                METHOD ["Transverse Mercator",  
15                                    ID ["EPSG",9807]],  
16                                PARAMETER ["Latitude of natural origin",0,  
17                                    ANGLEUNIT ["degree",0.0174532925199433],  
18                                        ID ["EPSG",8801]],  
19                                PARAMETER ["Longitude of natural origin",57,  
20                                    ANGLEUNIT ["degree",0.0174532925199433],  
21                                        ID ["EPSG",8802]],  
22                                PARAMETER ["Scale factor at natural origin",1,  
23                                    SCALEUNIT ["unity",1],  
24                                        ID ["EPSG",8805]],  
25                                PARAMETER ["False easting",10500000,  
26                                    LENGTHUNIT ["metre",1],  
27                                        ID ["EPSG",8806]],  
28                                PARAMETER ["False northing",0,  
29                                    LENGTHUNIT ["metre",1],  
30                                        ID ["EPSG",8807]]],  
31                            CS [Cartesian,2],  
32                                AXIS ["(E)",east,  
33                                    ORDER [1],  
34                                    LENGTHUNIT ["metre",1,  
35                                        ID ["EPSG",9001]]],  
36                                AXIS ["(N)",north,  
37                                    ORDER [2],  
38                                    LENGTHUNIT ["metre",1,  
39                                        ID ["EPSG",9001]]]]],  
40     TARGETCRS [  
41         GEOGCRS ["WGS 84",  
42             DATUM ["World Geodetic System 1984",  
43                 ELLIPSOID ["WGS 84",6378137,298.257223563,  
44                     LENGTHUNIT ["metre",1]]],  
45             PRIMEM ["Greenwich",0,  
46                 ANGLEUNIT ["degree",0.0174532925199433]],  
47             CS [ellipsoidal,2],  
48                 AXIS ["latitude",north,  
49                     ORDER [1],  
50                     ANGLEUNIT ["degree",0.0174532925199433]],  
51                 AXIS ["longitude",east,  
52                     ORDER [2],  
53                     ANGLEUNIT ["degree",0.0174532925199433]],  
54                 ID ["EPSG",4326]]],  
55         ABRIDGEDTRANSFORMATION ["unknown to WGS84",  
56             METHOD ["NTv2",  
57                 ID ["EPSG",9615]],  
58             PARAMETERFILE ["Latitude and longitude difference file","  
59                 qazgrid.tif",
```

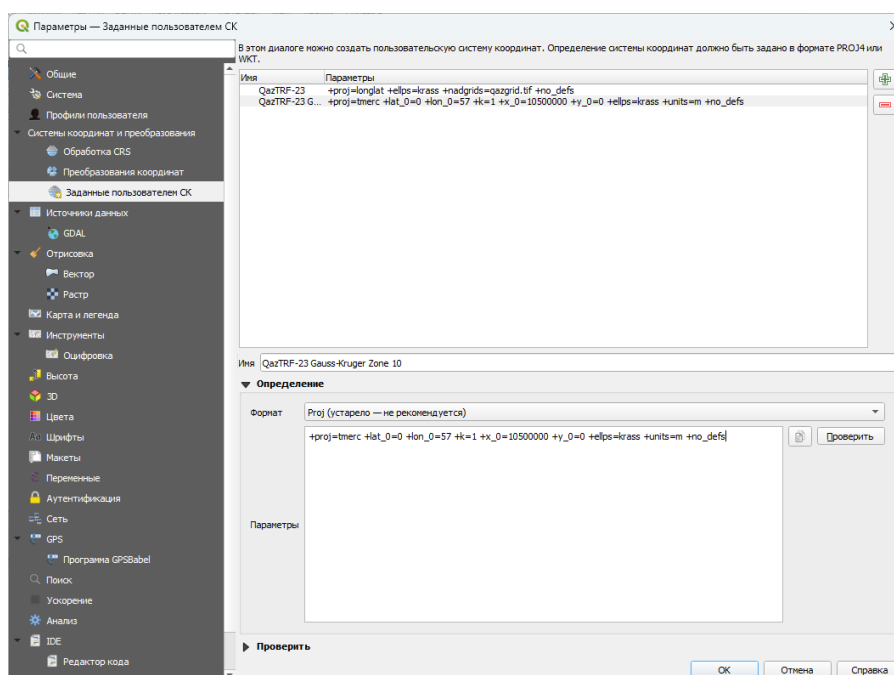



Рис. 6: Задание пользовательской системы координат в проекции Гаусса-Крюгера

7. Для проверки корректности введенного кода нажмите «Проверить». При отсутствии ошибок выйдет сообщение «Описание проекции в формате Proj корректно».
8. Для проверки корректности работы параметров проекции, раскройте вкладку «Проверить» и введите координаты в соответствующие поля «Широта» и «Долгота». В полях «Целевая СК» должны появиться координаты в проекции Гаусса-Крюгера.

3.2.2 Использование пользовательской системы координат

При загрузке данных из меню «Добавить слой», исходная система координат либо определяется самостоятельно (например, при загрузке из файла формата GeoJSON или Shapefile), либо задается вручную (например, при загрузке данных из файла формата CSV).

Для применения пользовательских параметров проекции с использованием сетки (см. разд. 3.2.1) необходимо выбрать при загрузке созданную систему координат, соответствующую координатам загружаемых данных.

Для этого в меню «Выбор системы координат» должен быть активен пункт «Предустановленные СК», а в разделе «Предопределенные системы координат» в списке «Пользовательская» должна быть выбрана созданная система координат (см. рис. 7).

Например, при загрузке данных из CSV-файла с координатами в проекции Гаусса-Крюгера попадающими в зону 10, необходимо выбрать созданную систему координат QazTRF-23 Gauss-Kruger Zone 10.

При необходимости пересчета координат в другую систему уже загруженного слоя, необходимо изменить систему координат слоя. Для этого из контекстного меню слоя необходимо выбрать пункт «Система координат слоя», далее «Изменить систему координат слоя» (см. рис. 8). В открывшемся окне выбрать созданную систему координат (см. рис. 7).

Например, если изначально слой точек в проекции Гаусса-Крюгера и зоной 10 был загружен со стандартными параметрами EPSG:28410 -- Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 10,

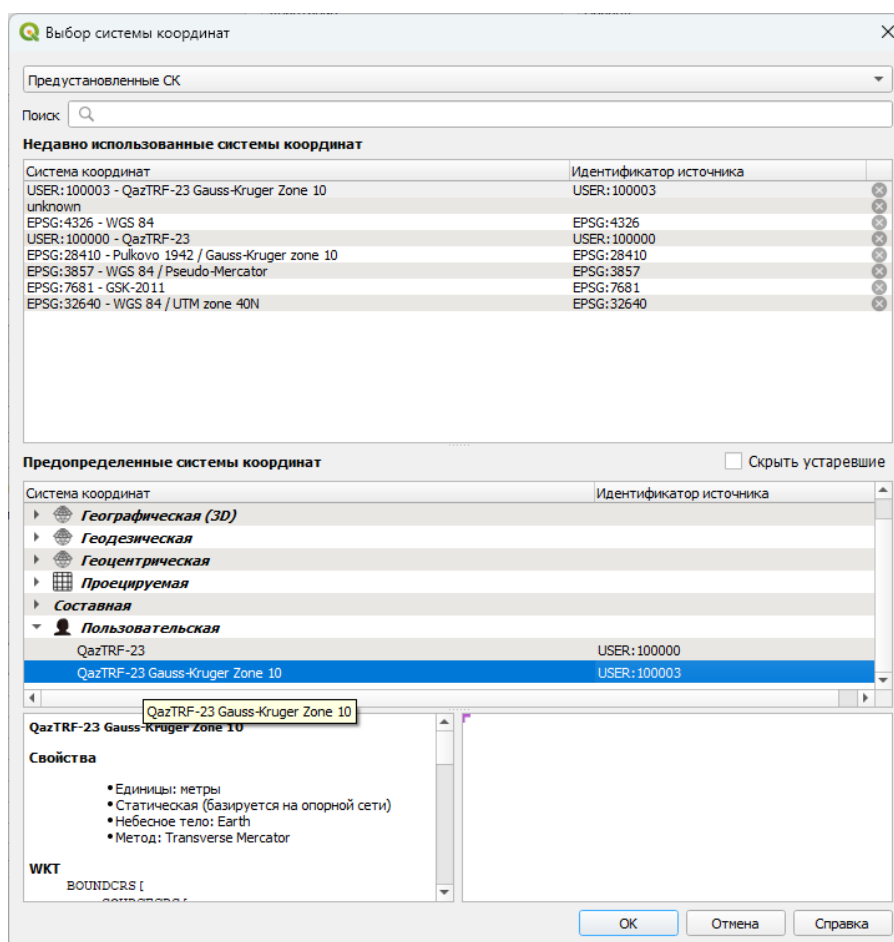


Рис. 7: Выбор пользовательской системы координат

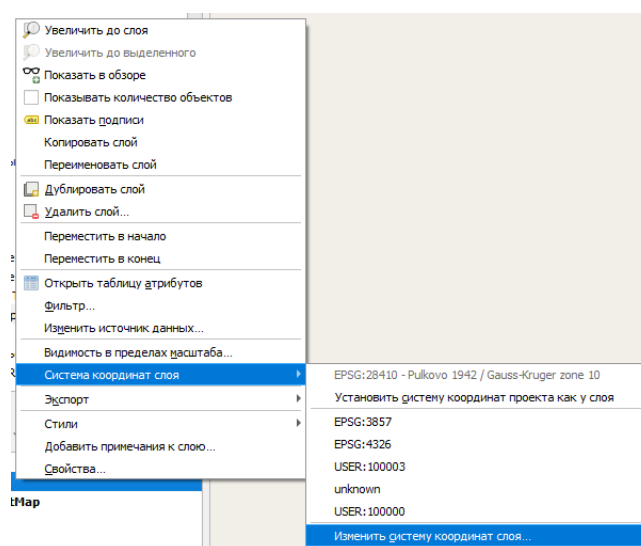
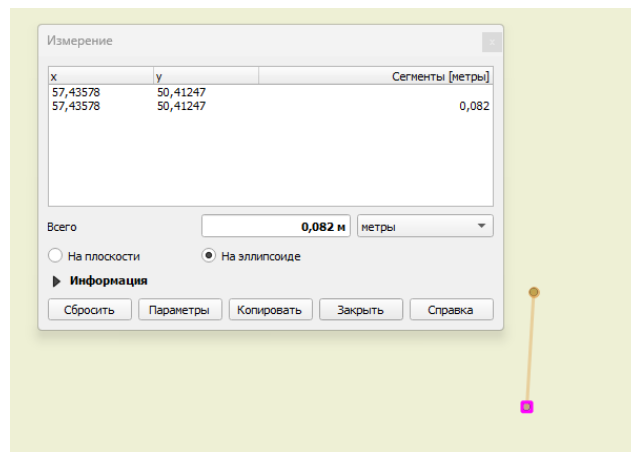
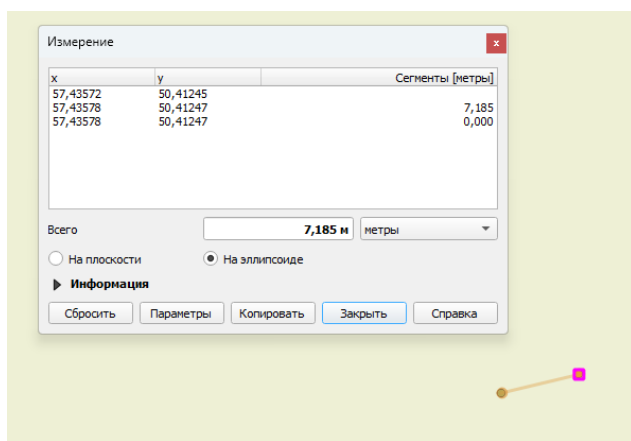


Рис. 8: Изменение системы координат слоя

соответствующими ГОСТ 32453-2017 [1], то их разность с фактическими координатами, измеренными в QazTRF-23, будет составлять несколько метров (см. рис. 9a). После применения пользовательской проекции QazTRF-23 Gauss-Kruger Zone 10 расхождение между точками будет в пределах 10 см (см. рис. 9b).



(а) Стандартная проекция: разность между точками ≈ 7.2 м

(b) Пользовательская проекция: разность между точками ≈ 0.1 м

Рис. 9: Сравнение координат точек в разных системах координат

3.3 Использование сетки в командной строке

Для использования сетки трансформации в командной строке необходимо установить пакеты PROJ. При установке QGIS этот пакет будет установлен автоматически.

3.3.1 Пример использования сетки в командной строке Windows

Для примера рассмотрим пересчет координат точки из СК-42 в QazTRF-23 в системе Windows. Например, исходные координаты точек записаны в текстовые файлы `input_lonlat.txt` и `input_tmerc.txt` в форматах «Долгота Широта Название» и «Восток Север Название», соответственно:

```
1 57.3225653817263 50.4231262829832 Akshat
2 57.3550926829123 50.2023604677713 Aldzhan
3 57.4416575403723 50.1979114236333 Ashisay
```

Листинг 1: Содержание файла `input_lonlat.txt` в географических координатах

```
1 10522923.32 5588060.67 Akshat
2 10525352.01 5563513.97 Aldzhan
3 10531535.26 5563052.1 Ashisay
```

Листинг 2: Содержание файла `input_tmerc.txt` в координатах проекции Гаусса-Крюгера

Для этого выполните следующие шаги:

1. Убедитесь, что сетка трансформации `qazgrid.tif` установлена в систему (см. разд. 3.1).
2. Откройте командную строку OSGeo4W. Для этого нажмите «Пуск», далее в меню «Приложения» в папке «OSGeo4W» выберите «OSGeo4W Shell». Откроется терминал «OSGeo4W».
- 3.
- 4.

Список литературы

- [1] Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32453-2017, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации, Москва, 2017.
- [2] Gerald I. Evenden, Even Rouault, Frank Warmerdam, Kristian Evers, Thomas Knudsen, Howard Butler, Mike W. Taves, Kurt Schwehr, Elliott Sales de Andrade, Charles Karney, Sebastiaan Couwenberg, Nyall Dawson, Alan D. Snow, and Javier Jimenez Shaw. PROJ, September 2024.
- [3] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association, 2025.