

СТАТЬИ

УДК 528.31

**ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ИЗ WGS84 В КЛАРК 1880
В ГОРНЫХ И ПУСТЫННЫХ РАЙОНАХ
В СИРИЙСКОЙ СТЕРЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ**

Абаас Гафаар

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва,
e-mail: gafaarabass@gmail.com*

Статья посвящена анализу современного состояния сирийской стереографической системы координат и вычислению параметров трансформации с помощью программного обеспечения Leica Geo Office в горных и пустынных районах в Сирии и возможности создания пространственной спутниковой геодезической сети, учитывая, что метод мониторинга предназначен для определения одной точки, а также для компенсации высоты локального эллипса (Кларк 1880) в уравнениях, равных высоте, измеренной GPS (WGS84). Существующая на территории Сирии геодезическая сеть не отвечает современным требованиям, потому что сеть давно не обновлялась современными методами, мы утратили большое количество пунктов из-за войны, сеть не развивалась либо развивалась на ограниченных территориях. Кроме того, высокоточное нивелирование, а также гравиметрические сети на территории страны отсутствуют, поэтому возникает проблема поиска параметров, которые не противоречат существующим документам в стереографической проекции, чтобы после войны можно было реконструировать страну. По результатам теоретического анализа были определены стереографическая проекция, параметры преобразования с использованием программы Leica_GEO_Office. Определены особенности вычисления параметров с оценкой точности и надежности вычислительного процесса. Параметры преобразования различаются в горных и пустынных районах, поэтому они должны быть рассчитаны для каждого региона отдельно, чтобы получить более точные результаты. Установлено, что различия между рассчитанными локальными координатами и данными не превышают 0,51 м и эти результаты находятся в допустимых пределах, и мы можем использовать программу (Leica_GEO_Office) для преобразования измеренных координат в локальные координаты в Сирии.

Ключевые слова: стереографическая проекция, геодезическая система координат, пункты геодезической сети, эллипсоид, параметры трансформирования, масштабный коэффициент, смещения центра

**FEATURES OF CALCULATION OF TRANSFORMATION PARAMETERS
FROM WGS84 TO CLARK 1880 IN MOUNTAINOUS AND DESERT AREAS
IN THE SYRIAN STEREOGRAPHIC PROJECTION**

Abaas Gafaar

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: gafaarabass@gmail.com

The geodetic network existing on the territory of Syria does not meet modern requirements, because the network has not been updated for a long time by modern methods, we have lost a large number of points due to the war, the network has not been developed, or developed in limited territories. In addition, there is no high-precision leveling, as well as gravimetric networks in the country. therefore, there is a problem of finding parameters that do not contradict existing documents in a stereographic projection. so that after the war we can do the reconstruction of the country. This article is devoted to the analysis of the current state of the Syrian stereographic coordinate system and the calculation of transformation parameters using Leica Geo Office software in mountainous and desert areas in Syria. Considering that the monitoring method is designed to determine a single point, as well as to compensate for the height of the local ellipse (Clark 1880) in equations equal to the height measured by GPS (WGS84). Based on the results of theoretical analysis, stereographic projections were determined, transformation parameters using the (Leica_GEO_Office) program, Determination of the features of calculating parameters with an assessment of the accuracy and reliability of the computational process. The conversion parameters differ between mountains and desert regions, so they must be calculated for each region separately in order to obtain more accurate results. It is established that the differences between the calculated local coordinates and the data do not exceed 0.51 meters and these results are within acceptable limits and we can use the program (Leica_GEO_Office) to convert the measured coordinates to local coordinates in Syria.

Keywords: stereographic projection, Geographic coordinate system, points of the geodetic network, ellipsoid, transformation parameters, Scale factor, Rotation center offsets

Конформная стереографическая проекция, принятая в Сирии для представления геодезических координат объектов, была разработана для эпохи бумажных карт в соответствии с географическими характеристиками Сирии во времена французского мандата (1920) и включает только экономическую и культурную часть страны. В насто-

ящее время эта ситуация изменилась, с тех пор как были запущены проекты по рекультивации земель и разведке нефти в Аль-Газире, а также были применены современные методы съемки и представления данных с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и географических информационных системы (ГИС) [1, 2].

Геодезические сети считаются важной основой для всех точных геодезических работ. Используя технологию ГНСС, в статье обсудим некоторые проблемы и рекомендации, касающиеся создания и консолидации сирийских геодезических сетей. Одна геодезическая сеть была протестирована в пределах стереографических координат. Геодезическая сеть, построенная с использованием системы глобального позиционирования (GPS), в системе координат WGS84, преобразуется в местную систему координат, основанную на сирийской стереографической проекции. Используя опорные точки региональной геодезической сети, определяются параметры трансформирования между координатами пунктов в системе WGS84 и сирийской стереографической проекцией с отсчетным эллипсоидом Clarke 1880 [1, 3, 4].

Цель исследования – поиск и анализ информации для определения состояния сирийской стереографической системы координат; определение параметров преобразования из геоцентрических систем координат в стереографическую систему координат в горных и пустынных районах Сирии.

Материалы и методы исследования

Для определения состояния сирийской стереографической системы координат выполнен поиск и анализ материалов в технической литературе, в открытых источниках сети Интернет. Для определения параметров трансформирования применены методы уравнивания, основанные на методах наименьших квадратов, методы моделирования процесса поиска ошибок, оценки точности и надежности полученных результатов.

Анализ современного состояния сирийской стереографической системы координат

Поверхность сирийской стереографической проекции, основанной на эллипсоиде Кларка 1880 года, касается области в точке недалеко от г. Пальмира с геодезическими координатами, являющимися началом координат для топографических карт [1, 5]:

$$\varphi^0 = 38,5\text{Grade} = 34^{\circ}12'000'' N;$$

$$\lambda^0 = 43,5\text{Grade} = 39^{\circ}09'00'' E,$$

где (φ^0, λ^0) – начало координат, при $X = Y = 0$.

Остальные параметры для фактической сирийской стереографической сетки имеют следующие значения:

$$a = 6378249.20m;$$

$$b = 6356514.87m;$$

$$e^2 = 0.00680348764; \quad (1)$$

$$f = 1 / 293.465;$$

$$k_0 = 0.9995317,$$

где a – большая полуось; b – малая полуось; e^2 – первый эксцентриситет; f – геометрическое (полярное) сжатие; k_0 – масштабный коэффициент в начале координат.

Масштабный коэффициент в Сирийской стереографической проекции составляет 0,9995314 в точке касания и 1,0 вдоль окружности радиусом 275 км с центром в начале проекции. Эта ситуация создает две зоны искажения различных знаков: центральную зону с масштабным коэффициентом < 1 или отрицательной коррекцией (проецируемое расстояние меньше реального расстояния) и пограничную зону с масштабным коэффициентом > 1 или положительной коррекцией (проецируемое расстояние больше реального расстояния). Эти различия в основном являются результатом неодинакового пространственного соотношения между поверхностью земли и нанесенной проекционной поверхностью [6].

Сирийская стереографическая проекция работает с предположением, что Сирия имеет форму почти круга, несмотря на относительную протяженность на юго-западе и северо-востоке, и что самая дальняя точка от начала проекции, по оценкам, находится примерно в 400 км, хотя есть некоторые точки с расстоянием 450 км. Эта разница влияет на значения искажений. Эта проекция обладает преимуществом медленного изменения искажений в зависимости от расстояния от начала отображения. Эта характеристика позволяет представить сирийскую территорию в единой системе [1, 6]. Начало координат системы координат находится в центре Сирийской стереографической проекции. Этот метод приводит к положительным и отрицательным значениям координат, которые, конечно, не объявляются при вычислениях, а не при чтении карты.

Вычисление параметров трансформации с помощью программного обеспечения Leica_GEO_Office

Для того чтобы вычислить эти параметры, необходимо иметь два набора координат. Первым набором будут координаты точки в системе WGS84. Вторым набором будут координаты в местной системе. Координаты по крайней мере трех точек должны быть известны в локальной системе

и в WGS84. Можно вычислить параметры преобразования, используя только три общие точки, но использование четырех приводит к большей избыточности и позволяет вычислять остатки. Классическая 3D-трансформация позволяет выбрать две различные модели трансформации: Бурса – Вольфа или Молоденского – Бадекаса:

– Методы, использующие семь параметров Бурса – Вольфа [7, 8]:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}_B = (1 + \delta\lambda) \times R_s \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_A + \begin{bmatrix} t_x' \\ t_y' \\ t_z' \end{bmatrix}, \quad R_s = \begin{bmatrix} 1 & RZ'' & -RY'' \\ -RZ'' & 1 & RX'' \\ RY'' & -RX'' & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где X, Y, Z – прямоугольные геоцентрические координаты соответственно в системе A и B ; RX, RY, RZ – матрицы вращения вокруг осей координат; t_x, t_y, t_z – смещения центра одной системы координат относительно другой; $\delta\lambda$ – отличие масштаба систем координат.

– Преобразование координат Молоденского – Бадекаса [7, 8]:

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x' \\ t_y' \\ t_z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & RZ'' & -RY'' \\ -RZ'' & 1 & RX'' \\ RY'' & -RX'' & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_A - X_A^0 \\ Y_A - Y_A^0 \\ Z_A - Z_A^0 \end{bmatrix} + \delta\lambda \begin{bmatrix} X_A - X_A^0 \\ Y_A - Y_A^0 \\ Z_A - Z_A^0 \end{bmatrix},$$

где дополнительно к (6) X_A^0, Y_A^0, Z_A^0 – начало отсчёта для разворота и масштабного преобразования, а ΔS – масштабный фактор; остальные основные обозначения соответствуют формуле (2).

Используя параметры преобразования, мы можем преобразовать геодезические координаты точек, измеренных в GPS, в локальные координаты.

Вычисление параметров преобразования (Leica_GEO_Office)

У нас есть семь точек (первый случай) в горных районах недалеко от сирийского по-

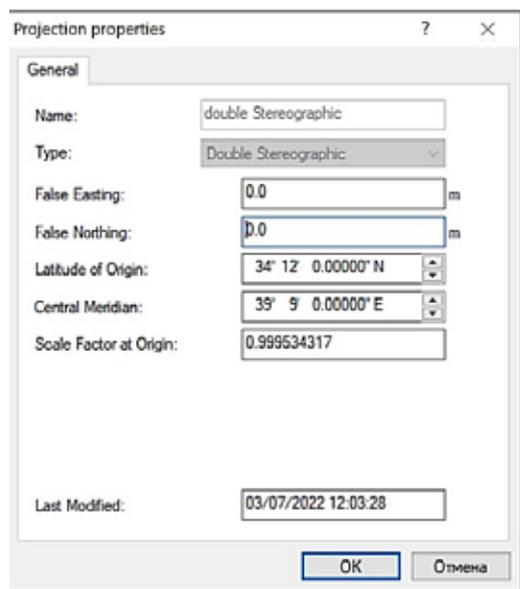
бережья и четыре точки (второй случай) в пустынной местности недалеко от г. Пальмира. Их координаты известны в местных стереографических координатах и с помощью GPS, как показано в табл. 1. Принимая во внимание высоту точек над локальным эллипсоидом, Кларк 1880 равна высотам, указанным над эллипсоидом WGS 84. Из-за отсутствия знаний о изгибе головки в изучаемой области.

Таблица 1

Геодезические и стереографические координаты точек

WGS84				Стереографические координаты	
№	φ^0	λ^0	H	X (m)	Y (m)
Первый случай					
1	35,02392111	35,94033612	236,107	-292919,03	96034,38
2	34,99115203	35,88839667	40,623	-297774,21	92553,48
3	34,87166411	35,90678056	95,524	-296520,68	79245,41
4	34,92501211	35,94771121	245,753	-292592,53	85049,93
5	35,06253803	35,91883594	246,922	-294747,65	100378,57
6	34,95354747	35,97202051	349,228	-290276,67	88138,46
7	35,02951878	35,91818206	97,426	-294923,96	96718,59
Второй случай					
1	36,02281629	36,69956882	367,912	-220958,76	204889,91
2	36,03360643	36,69263257	368,146	-221554,52	206102,17
3	36,20246982	36,72776197	430,459	-217933,5	224758,23
4	35,92137723	36,67392676	413,98	-223547,79	193692,78

Параметры стереографической системы координат (начальные координаты для топографических карт и геометрическое сжатие) вводятся, как показано на рисунке.



Параметры стереографической системы координат

Параметры перехода от WGS84 к Кларк 1880 следующие с использованием метода Бурса – Вольфа (семь параметров) с использованием четырех точек в первом случае и трех точек во втором случае/

Используя параметры преобразования, мы вычисляем стереографические координаты и местные геодезические координаты (Кларк 1880) остальных точек.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнивая вычисленные локальные стереографические координаты, вычисленные с помощью программы (Leica_GEO_Office) с исходными, мы обнаруживаем следующие различия (табл. 4).

Из результатов предыдущего сравнения мы находим, что:

– Различия между рассчитанными локальными координатами и данными не превышают 0,51 м в первом и втором случаях с учетом того, что используемое устройство GPS (Ashtic) и метод мониторинга предназначены для определения одной точки, а также компенсации высоты локального эллипса (Кларк 1880) в уравнениях, равных высоте, измеренной GPS (WGS84), мы находим, что результаты находятся в допустимых пределах, и поэтому программа (Leica_GEO_Office) может использоваться для преобразования измеренных координат в локальные координаты.

– Параметры преобразования различаются в первом и втором случаях, и поэтому мы считаем, что они должны быть рассчитаны для каждого региона отдельно, чтобы получить более точные результаты.

Таблица 2

Параметры преобразования

№	TX(m)	TY(m)	TZ(m)	RX''	RY''	RZ''	S (PPM)
Первый случай	103,0357	68,2145	-313,8877	-11,7857	-7,95168	-5,67479	11,9684
Второй случай	284,7514	-224,4352	-275.9176	-5,77625	-5,40427	-14,79985	12,1893

Таблица 3

Стереографические координаты и местные геодезические координаты

№	X (m)	Y (m)	φ^0	λ^0
Первый случай				
5	-294747,1516	100378,9794	35,06266894	35,91760063
6	-290277,1882	88138,7174	34,95368195	35,97079921
7	-294923,5616	96718,7892	35,02964586	35,9169543
Второй случай				
4	-223548,1432	193693,1317	35,92160675	36,67258806

Таблица 4

Локальные различия в координатах

№	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
Первый случай						
5	-292924,4	96035,501	-292924,798	96035,105	0,4984	0,4094
6	-292599,1	85044,932	-292599,428	85044,523	-0,5182	0,2574
7	-294925,5	96719,756	-294925,825	96719,349	0,3984	0,1992
Второй случай						
4	-223548,1	193693,13	-223547,79	193692,78	0,3532	-0,3517

Заключение

По результатам теоретического и практического анализа была определена стереографическая проекция, параметры преобразования с использованием программы (Leica_GEO_Office), определены особенности вычисления параметров с оценкой точности и надежности вычислительного процесса.

Программа (Leica_GEO_Office) выводит координаты новых точек, измеренных GPS, в виде местных геодезических координат на эллипсе Кларка 1880, и это позволяет преобразовать их в локальные координаты с использованием проекции Ламберта на эллипсе Кларка 1880, используемой в Сирии.

Традиционные геодезические данные в Сирии, как и во многих других местах по всему миру, отличаются от тех, которые используются GPS. Несмотря на то, что модель преобразования между этими данными доступна, полезно модернизировать геодезические данные, связанные с подходящей картографической проекцией, для поддержания качества и точности GPS-наблюдений.

Список литературы

1. Мусбах Асаад Али. Современное состояние геодезической сети на территории сирийской Арабской Республики // Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 3. С. 13–15.1
2. Наим Альмунайзел. О создании геодезических сетей Республики Сирия // Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 3. С. 23–25.1
3. Хабиб М., Кутаишат К., Шатнави Н. Развитие инфраструктуры кадастровых пространственных данных в Сирии // Международный журнал планирования, городского и устойчивого развития. 2017. № 4.2. С. 13–22.
4. Шануров Г.А. Спутниковая геодезия. М.: МИИГАиК, 2015. 80 с.
5. Кутени Джад Аль Карим Хамад. Разработка методики геодезического обеспечения исследования деформации при нефтедобыче на территории Сирийской Арабской Республики: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2020. 136 с.
6. Наим Альмунайзел. Построение и математическая обработка измерений в кадастровых сетях (на примере Сирийской Арабской Республики): дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2013197 с.
7. Раффхед А. Исследование точности и практичности методов преобразования координат между геодезическими данными: дис. ... канд. техн. наук. Университет Восточного Лондона, 2021. 379 с.
8. Якимчик А.И. О преобразовании координат пунктов из системы СК-42 в систему WGS-84 // Геофизический журнал. 2019. № 41. 5. С. 165–189. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.183641.