

## СТАТЬИ

УДК 528.31

**ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ  
И УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ИЗ WGS84 В КЛАРК1880  
В СИРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЛАМБЕРТА**

**Абаас Гафаар**

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

В данной статье представлены современное состояние системы координат Ламберта в Сирийской Арабской Республике и вычисление параметров преобразования с использованием программного обеспечения Leica\_GEO\_Office и определение уравнения регрессии в Excel для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880 в Сирии и возможности создания пространственной спутниковой геодезической сети. Эта система использовалась в Сирийской Арабской Республике с 1920-х гг. и была принята до 1958 г. в качестве основы для создания карт сирийских земель Военно-геодезическим управлением. На основе результатов анализа были рассмотрены состояния проекции Ламберта, параметры преобразования и уравнение регрессии. Отмечается, что различия между вычисленными локальными координатами и известными не превосходят 0,53 м, мы замечаем, что результаты находятся в допустимых пределах и, кроме того, различия между геодезическими координатами, рассчитанными с помощью программы Leica\_GEO\_Office, и координатами, полученными из уравнений регрессии, не превышают 0,004 с, и поэтому уравнения регрессии можно использовать для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880, вместо параметров преобразования, вычисленных с помощью программы Leica\_GEO\_Office, и затем мы преобразуем геодезические координаты в прямоугольные координаты в системе Ламберта с использованием уравнений преобразования. Предпочтительно вычислять параметры преобразования и коэффициенты регрессии для каждого региона отдельно, чтобы получить высокую точность при преобразовании координат.

**Ключевые слова:** равноугольная коническая проекция Ламберта, геодезическая система координат, пункты геодезической сети, эллипсоид, параметры трансформирования, уравнение регрессии, масштабный коэффициент

**FEATURES OF CALCULATING TRANSFORMATION PARAMETERS  
AND REGRESSION EQUATION FROM WGS84 TO CLARKE 1880  
IN THE SYRIAN LAMBERT COORDINATE SYSTEM**

**Abaas Gafaar**

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

The Lambert equiangular conic projection has been used in the Syrian Arab Republic since the 1920s and was adopted until 1958 as the basis for the creation of maps of Syrian lands by the Military Geodetic Directorate. The maps place in this projection, as well as the coordinates of their Control Points, are still used for research and large-scale civil engineering projects. This article presents the current state of the Lambert coordinate system in the Syrian Arab Republic and the calculation of the transformation parameters and the definition of the regression equation in excel for converting geodetic coordinates measured using GPS into geodetic coordinates on the Clark 1880 ellipse in Syria and the possibility of creating a spatial satellite geodetic network. Based on the results of the comparison it was found that the differences between the calculated and known local coordinates do not exceed 0.53 meters, taking into account that the GPS device used (Ashtic) and the monitoring method are designed to determine one point. And, too, the differences between the geodetic coordinates calculated using the program Leica\_GEO\_Office and the coordinates obtained from the regression equations do not exceed 0.004 seconds, and therefore the regression equations can be used to convert geodetic coordinates measured using GPS into geodetic coordinates on the Clark 1880 ellipse, and we convert geodetic coordinates to rectangular coordinates in the Lambert system using transformation equations.

**Keywords:** equiangular conic Lambert projection, geodetic coordinate system, points of the geodetic network, ellipsoid, transformation parameters, regression equation, Scale factor

Картографическая проекция Ламберта в Сирии использует равноугольную проекцию, которая сохраняет углы при переходе от эллипса к поверхности проекции. Эта проекция была разработана французом (Дураффурад), который использовал

базовые точки (тригонометрическую сетку) первого и второго ранга в расчетах, он использовал географические координаты, из которых он вывел прямоугольные координаты, используя формулу преобразования [1].

В рамках этой системы все карты были созданы до 1958 г. Военно-геодезическим управлением (в настоящее время Главное управление геодезических работ) в масштабе 1:25000 и 1:50 000, из которых были получены карты меньшего масштаба. Контрольные точки системы (которая простиралась от северного Алеппо до равнин Хорана на юге и от побережья на западе до окраин пустыни на востоке) послужили отправной точкой для их уплотнения российскими геодезистами, создавшими карты всех сирийских земель в конце 1950-х гг. на масштаб 1:200 000 по контракту с Министерством промышленности и торговли. Был использован эллипсоид Кларка 1880 г. [2].

В работе ставится цель совершенствования координатной основы Республики Сирия. На основе спутниковых наблюдений показать, как можно определить состояние сирийской системы координат Ламберта; параметры трансформации и уравнение регрессии для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880.

#### Материалы и методы исследования

Анализ и обобщение теоретических и практических результатов исследований при обосновании актуальности темы работы и решаемых задач, включающие экспериментальные геодезические спутниковые измерения, методы математической статистики и теории вероятностей, в том числе метод наименьших квадратов при обработке спутниковых определений.

#### *Анализ современного состояния системы координат Ламберта в Сирии*

Проекционная поверхность. Прямая коническая касательная к широте  $38,5^\circ$ , а поскольку сирийская территория расположена в пределах шести широт, трех северных и южных широт, то есть в пределах  $35,5^\circ$  и  $41,5^\circ$ ,

и был использован  $K_0 = 0,99962560$  для снижения линейных искажений, и деформации нет на двух широтах рядом с городами (Алеппо и Аль-Санамайн) [1, 3]:

$$40,25 = 1,75 + 38,5 = {}_1\varphi_{гр}.$$

$$36,75 = 1,75 - 38 = {}_2\varphi_{гр}.$$

Точка перспективы расположена в центре Земли, и, поскольку эта проекция является равноугольной, она зависит от математических формул в процессе проектирования. Географические координаты центра проекции:

$$\varphi^0 = 38,5 \text{ Grade}; \lambda^0 = 41,5 \text{ Grade}.$$

Прямоугольная система. В сирийской конической проекции Ламберта ось  $y$  применяется к долготе, спроецированной графикой, проходящей через центр системы, а направление  $x$  с запада на восток перпендикулярно ей, что относительно широты, проходящей через центр системы,  $Y$  для различения прямоугольной системы в сирийской конической проекции Ламберта из прямоугольной стереографической проекционной системы, так что все территории находятся в первой четверти и все координаты точек становятся положительными, центр системы координат  $(x, y)$  был перемещен на 300 км к западу и югу [3].

$$X = x + 300\text{Km}; Y = y + 300\text{Km};$$

$$x = R \sin y; y = R_0 - R \cos y.$$

Координаты с помощью этой системы с учетом коэффициента искажения следующим образом [4, 5]:

$$X = K_0 R \sin \gamma + 300\text{Km}.$$

$$Y = K_0 (R_0 - R \cos \gamma) + 300\text{Km}.$$

$$K_0 = 0,99962560.$$

$$R_0 = N_0 \cot \varphi^0.$$

Экваториальный радиус кривизны первого вертикала  $N_0 = 6385274,673 \text{ m}$ .

$$R = R_0 e^{-\sin \varphi^0 (\varepsilon - \varepsilon^0)},$$

$$\varepsilon = \ln \left\{ \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left[ \frac{1 - e \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right]^{e/2} \right\},$$

$$\varepsilon^0 = \ln \left\{ \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi^0}{2} \right) \left[ \frac{1 - e \sin \varphi^0}{1 + \sin \varphi^0} \right]^{e/2} \right\},$$

$$\gamma = \sin \varphi^0 (\lambda - \lambda^0).$$

И тоже можно вычислить с помощью двух формул

$$R = \left[ x^2 + (R_0 - y)^2 \right]^{1/2},$$

$$\gamma = \arcsin(x / k_0 \cdot R).$$

Масштабный коэффициент для точки или расстояния в несколько километров составляет

$$K = K_0 \left[ (R \sin \varphi^0) / (N \cos \varphi) \right],$$

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2},$$

$$a = 6378249.2 \text{ m},$$

$$e^2 = 0.00680348764,$$

где  $a$  – большая полуось;  $b$  – малая полуось;  $e^2$  – первый эксцентриситет;  $N$  – экваториальный радиус;  $f$  – геометрическое (полярное) сжатие;  $k_0$  – масштабный коэффициент в начале координат;  $(R, \gamma)$  – элементы полярных координат точки;  $\gamma$  – полярный угол, зажатый между разверткой конуса, проходящей через точку, и развертки конуса, проходящей от центра предложения;  $R$  – длина развертки конуса, проходящей через точку;  $R_0$  – длина развертки конуса, проходящей от центра предложения;  $\varepsilon$  – продольное искажение в км.

И масштабный коэффициент, равный единице на расстоянии 174728 м от  $\varphi_0$  севера и юга. А это примерно приводит к тому, что масштабный коэффициент равен единице. То есть нет искажений при ширине  $36,75^\circ$  и  $40,25^\circ$ . А линейное искажение на широте, проходящей через центр системы, равно  $-37,44$  см/км.

#### Формирование уравнения регрессии

Регрессионный анализ – это статистический метод анализа различных факторов

и понимания того, какие из них могут повлиять на достижение цели, а какие можно игнорировать. В нашем случае его можно использовать для формирования уравнений регрессии геодезических координат от WGS84 до эллипса Кларка 1880, которые можно использовать вместо параметров преобразования [6].

Итоговый вывод показывает, насколько хорошо рассчитанное уравнение линейной регрессии соответствует вашему источнику данных.

R-квадрат – это коэффициент корреляции, который измеряет силу линейной зависимости между двумя переменными. Чем больше абсолютное значение, тем сильнее взаимосвязь.

– 1 означает прочные позитивные отношения;

– -1 означает сильную отрицательную связь;

– 0 означает отсутствие каких-либо отношений вообще.

Вычисление параметров преобразования (Leica\_GEO\_Office)

У нас есть шесть точек, распределенных вблизи района Пальмиры, который находится близко к центру сирийских координат, как видно на рис. 1. В табл. 1 показаны их местные координаты и с помощью GPS.

На рис. 2 показано геометрическое сжатие и начальные координаты системы координат Ламберта.

Используя четыре точки и с помощью метода Бурсы – Вольфа (семь параметров), мы вычисляем параметры перехода от WGS84 на Кларка 1880.

Локальные координаты и местные геодезические координаты (Кларк 1880) оставшихся двух точек, рассчитанные с использованием параметров преобразования, показанных в табл. 2.

**Таблица 1**

Геодезические и декартовы координаты точек

№	Геодезические координаты Кларк 1880		Декартовы координаты по Ламберту			Геодезические координаты WGS84		
	$\varphi$	$\lambda$	X (m)	Y (m)	H (m)	$\varphi$	$\lambda$	H (m)
1	34,43971069	37,20772322	286928,26	276690,96	914,879	34,43948567	37,20887906	952,27
2	34,57962625	37,2064295	286831,47	292205,73	696,523	34,57940711	37,20760986	733,12
3	34,53606069	37,31068669	296392,19	287365,64	759,118	34,53582172	37,31187142	796,85
4	34,33346022	36,94926556	263135,11	264973,23	933,472	34,33325933	36,95036692	969,22
5	34,42030367	37,09905006	276939,07	274558,71	779,585	34,42009283	37,10019569	816,13
6	34,41447153	37,30001428	295406,26	273884,84	725,067	34,41423958	37,30117783	763,36

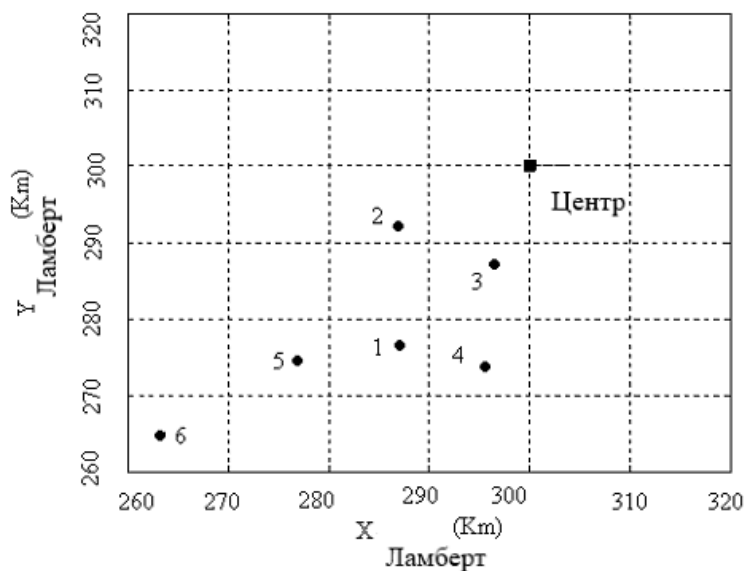


Рис. 1. Пункты геодезической сети

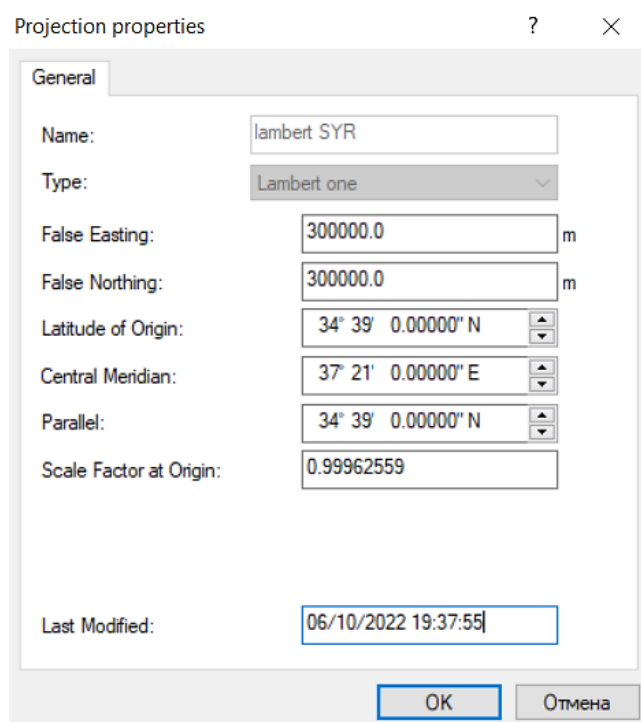


Рис. 2. Параметры системы координат Ламберта

Параметры перехода от WGS 84 на Кларка 1880 следующие:

- смещение по оси X  $T_X = 758.2309$  m;
- смещение по оси Y  $T_Y = -176.8499$  m;
- смещение по оси Z  $T_Z = 323.1733$  m;
- поворот вокруг оси X  $R_X'' = -6.82987''$ ;
- поворот вокруг оси Y  $R_Y'' = -16.88788''$ ;
- поворот вокруг оси Z  $R_Z'' = -29.98073''$ ;
- масштабный фактор S (PPM) =  $-98.6265$  PPM.

Таблица 2

Декартовы координаты и местные геодезические координаты

№	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	X (m)	Y (m)
5	34,42030762	37,09905859	276939,6057	274558,9367
6	34,4144807	37,30001663	295406,3671	273885,246

*Формирование уравнения регрессии геодезических координат от WGS84 до эллипса Кларка 1880 в Excel*

Для формирования уравнения регрессии геодезических координат от WGS84 до эллипса Кларка 1880 были использованы четыре

точки (табл. 3) и вычислены коэффициенты регрессии долготы и широты (табл. 4), и с использованием этих формул будут рассчитаны геодезические координаты оставшихся точек в локальном эллипсоиде Кларка 1880. Эти координаты указаны ниже в табл. 5.

Таблица 3

Геодезические координаты точек с географическими разностями координат

№	WGS84		WGS84 – CLARK1880	
	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	$\Delta\varphi^\circ$	$\Delta\lambda^\circ$
1	34,43948567	37,20887906	-0,000225028	0,001155833
2	34,57940711	37,20760986	-0,000219139	0,001180361
3	34,53582172	37,31187142	-0,000238969	0,001184722
4	34,33325933	36,95036692	-0,000200883	0,001101361

Таблица 4

Коэффициенты регрессии долготы и широты

Регрессионная статистика	$\Delta\varphi^\circ$	$\Delta\lambda^\circ$
Множественный R	0,987686401	0,999732071
R-квадрат	0,975524426	0,999464213
Нормированный R-квадрат	0,926573277	0,998392639
Стандартная ошибка	4,27666E-06	1,53595E-06
Наблюдения	4	4
Коэффициенты		
Y-пересечение	0,002792441	-0,009947338
$\varphi^\circ$	5,35117E-05	0,000181012
$\lambda^\circ$	-0,000130701	0,000130834

И уравнение регрессии для геодезических координат от 84-й рабочей группы до эллипса Кларка 1880 г. будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta\varphi^\circ = 0.002792441 + 5,35117 * 10^{-5} * \varphi_{\text{wgs84}}^\circ - 0,000130701 * \lambda_{\text{wgs84}}^\circ,$$

$$\varphi_{\text{Кларк 1880}}^\circ = \Delta\varphi^\circ + \varphi_{\text{wgs84}}^\circ,$$

$$\Delta\lambda^\circ = -0.0009947338 + 0.000181012 * \varphi_{\text{wgs84}}^\circ + 0,000130834 * \lambda_{\text{wgs84}}^\circ,$$

$$\lambda_{\text{Кларк 1880}}^\circ = \Delta\lambda^\circ + \lambda_{\text{wgs84}}^\circ$$

**Таблица 5**

Рассчитанные геодезические координаты

№	φ° WGS84	λ° WGS84	Δφ°	Δλ°	φ° CLARK1880	λ° CLARK1880
5	34,42009283	37,10019569	-0,0002147	0,001137084	34,42030753	37,09905861
6	34,41423958	37,30117783	-0,000241282	0,001162319	34,41448087	37,30001551

**Таблица 6**

Локальные различия в координатах

№	X (m) выч	Y (m) выч	X (m) Исх	Y (m) Исх	ΔX (m)	ΔY (m)
5	276939,6057	274558,9367	276939,07	274558,71	0,5357	0,2267
6	295406,3671	273885,246	295406,26	273884,84	0,1071	0,406

**Таблица 7**

Различия геодезических координат

№	Δφ°	Δλ°	Δφ"	Δλ"
5	8,58E-08	-1,90E-08	0,000309	-0,0000688
6	-1,70E-07	1,12E-06	-0,00061	0,004029809

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Сличая локальные координаты, рассчитанные с использованием программы Leica GEO Office, с известными координатами, мы обнажаем следующие разницы (табл. 6).

Сличая местные геодезические координаты, рассчитанные с использованием уравнений регрессии, и координаты, рассчитанные с использованием программы Leica GEO Office, мы обнажаем следующие разницы (табл. 7).

Из результатов сличения мы замечаем следующее:

– Разницы между вычисленными локальными координатами и известными не превосходят 0,53 м, мы замечаем, что результаты находятся в допустимых пределах, и поэтому параметры преобразования, рассчитанные с помощью программы Leica GEO Office, могут быть использованы для преобразования измеренных координат в локальные координаты.

– Различия между геодезическими координатами, рассчитанными с помощью программы Leica GEO Office, и координатами, полученными из уравнений регрессии, не превышают 0,004 с, и поэтому уравнения регрессии можно использовать для

преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880, и мы преобразуем геодезические координаты в прямоугольные координаты в системе Ламберта с использованием уравнений преобразования.

– Для получения высокой точности при преобразовании координат предпочтительно вычислять параметры преобразования или коэффициенты регрессии для каждого региона отдельно.

**Заключение**

На основе результатов анализа были рассмотрены современное состояние системы координат Ламберта в Сирийской Арабской Республике и вычисление параметров преобразования с использованием программного обеспечения Leica GEO Office и определение уравнения регрессии в Excel для преобразования геодезических координат, измеренных с помощью GPS, в геодезические координаты на эллипсе Кларка 1880 в Сирии.

Эта система использовалась в Сирийской Арабской Республике с 1920-х гг. и была принята до 1958 г. в качестве основы для создания карт сирийских земель Военно-геодезическим управлением. Основыва-

ясь на результатах предыдущего анализа, мы можем использовать эту проекцию для обновления сирийской геодезической сети, чтобы после войны сделать реконструкцию страны.

#### Список литературы

1. Мусбах Асаад Али. Современное состояние геодезической сети на территории Сирийской Арабской Республики // Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 3. С. 13–15.]

2. 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.

3. Наим Альмунайзел. Построение и математическая обработка измерений в кадастровых сетях (на примере Сирийской Арабской Республики): дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2013]97 с.

4. Идрисов И.Р., Николаев А.Ф., Николаева С.С. Мировые и государственные системы координат и счета времени, используемые в географии, геодезии и картографии. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2016. 112 с.

5. Раффхед А. Исследование точности и практичности методов преобразования координат между геодезическими данными: дис. ... канд. техн. наук. Университет Восточного Лондона, 2021. 379 с.

6. Шредер Л.Д., Шоквист Д.Л., Стефан П.Э. Понимание регрессионного анализа: Вводное руководство. Публикации Sage, 2016. 120 с.