

УДК 528.41+[528.2/.3:629.78]

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-31-39

Опыт корректировки планового положения пунктов геодезической сети с использованием спутниковых определений и переводом координат на эллипсоид Кларка

М. Г. Мустафин¹✉, Насруллах Мохаммад¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: mustafin_m@mail.ru

Аннотация. Использование глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) в значительной степени преобразило геодезические работы и, безусловно, повысило их точность. Важной задачей при этом является корректирование местных систем координат (МСК), которое постоянно проводится в нашей стране. Кроме того, выполняются работы по уточнению государственных геодезических сетей. В этой связи интерес представляет описание методики преобразования координат в Ливанской Республике. При анализе существующих геодезических сетей обнаружилось, что по данным спутниковых определений координат точек сетей первого и второго порядка и их переводе с применением принятых параметров преобразования Гельмерта в национальную систему координат. позиционные ошибки (СКП относительно исходных пунктов) получились от 20 см до 75 см. Несмотря на то, что геодезическая сеть в Ливане была создана около 100 лет назад методом триангуляции, такие ошибки, конечно, не приемлемы. В статье дан анализ текущего состояния ливанской стереографической системы координат (эллипсоид Кларка 1880). Приведена методика корректирования координат пунктов МСК путем использования данных спутниковых определений, их обработки в Международной наземной системе отсчета (ITRF2014) и уравнивания с использованием программного обеспечения Topcon Magnet Tools. Параметры конвертации данных различаются в южном и северном регионах, поэтому рассмотрены отдельно.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, преобразование координат, стереографическая проекция, опорный эллипсоид, мировая геодезическая система, точное позиционирование точки (PPP)

Для цитирования:

Мустафин М. Г., Насруллах Мохаммад. Опыт корректировки планового положения пунктов геодезической сети с использованием спутниковых определений и переводом координат на эллипсоид Кларка // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 31–39. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-31-39

Введение

ГНСС являются революционной технологией, поскольку они существенно меняют представление о методах съемки и ее использовании [1–3]. Спутниковые определения обеспечивают высокую точность и сокращают время измерений [4–6]. Благодаря интеграции результатов с компьютерными технологиями, могут быть адаптированы к широкому спектру программного обеспечения и в этой связи успешно применяются при решении многих

прикладных задач [7–9], например деформационном мониторинге зданий и сооружений [10–12]. Эффективно ГНСС-технологии применяются и при мониторинге земель [13], а также при строительстве сооружений и в исследованиях, влияющих на измерения факторов и их обработку с получением наглядного представления информации [14–16].

ГНСС используют эллипсоид Всемирной геодезической системы 1984 года, известного как WGS84, с большой полуосью a , равной

6 378 137,0 м, и коэффициентом сжатия $\alpha = 298,257\ 223\ 563$ [17–19]. Учитывая огромные преимущества ГНСС, большинство стран в последние десятилетия начали применять эту технологию при обновлении своих геодезических сетей [20, 21].

В Республике Ливан также выполнено переопределение координат старой геодезической сети, созданной в 20-х гг. прошлого века французскими военными геодезистами-топографами, методом триангуляции. Многие пункты старой сети, вследствие военных действий (1975–1990 гг.), были утеряны. Выполненные Управлением по геодезическим делам Ливана (УГД) спутниковые определения позволили создать набор параметров преобразования Гельмерта для перехода от глобальной системы к национальной системе координат [22–24]. Вместе с тем, проведенные геодезические измерения на ряде объектов с применением принятых параметров преобразования показали значительные несоответствия положений одних и тех же пунктов при использовании разных исходных пунктов, которое варьирует от сантиметров до нескольких дециметров [25,26].

В статье выполнена проверка и попытка подбора новых параметров преобразования для геодезических пунктов. Семь параметров преобразования Гельмерта определяются для двух зон Ливана (север, юг). При этом производятся спутниковые определения на нескольких пунктах геодезической сети. Далее выполнен переход от глобальной системы позиционирования в системе координат WGS84 к местной системе координат в Ливане на основе двойной стереографической проекции на опорном эллипсоиде Кларка 1880 г. Полученные результаты сравнивались с координатами существующей сети и корректировались.

Исходные данные и методика исследования

Местная система координат, используемая в Ливанской Республике, получила название «Стереографическая Дейр-эз-Зор Левант». Исходная точка (начало координат) расположена в Пальмире в Сирии, и ее географические координаты следующие: широта

$\phi_0 = 34^\circ 12' 00'' \text{N}$, долгота $\lambda_0 = 39^\circ 09' 00'' \text{E}$. Остальные параметры стереографической системы имеют следующие значения: $a = 6378249.20 \text{m}$; $f = 1/293.4660208$; $k_0 = 0.9995341$, где a — большая полуось; f — обратное сглаживание; k_0 — масштабный коэффициент в начале координат.

Для определения параметров преобразования были проведены статические ГНСС-измерения на четырех точках существующей сети в северной зоне (рис. 1). Местные стереографические координаты этих точек известны. Использованы двухчастотные ГНСС-приемники Topcon Hiper V с сеансами наблюдений более двух часов на каждой точке и получены из правительственных справочников.

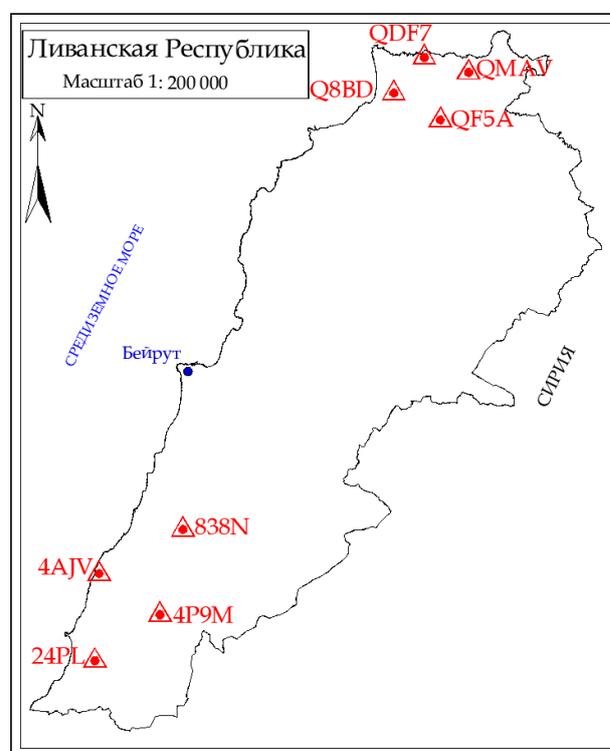


Рис. 1. Схема расположения экспериментальных пунктов геодезической сети

Геоцентрические координаты экспериментальных точек (см. рис. 1) скорректированы в небесной системе отсчета ITRF2014 путем загрузки данных в онлайн-сервис AUSPOS [27]. Стереографические и геоцентрические координаты точек ITRF представлены в табл. 1.

Таблица 1

Координаты определяемых точек в разных системах

Код точки	Сtereографические координаты		Геодезическая высота (m)	ITRF2014 Геоцентрические координаты		
	X (m)	Y (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
QDF7	-276703.51	50591.50	325.477	4244022.201	3098508.691	3603305.127
QMAV	-267863.64	46112.57	856.200	4241015.317	3107418.857	3600132.971
Q8BD	-281865.07	46840.02	175.622	4248687.940	3095664.632	3600006.407
QF5A	-274460.65	40532.07	648.448	4247317.149	3104059.186	3595263.101
838N	-336179.44	-65125.82	1030.725	4330580.185	3092312.556	3506367.515
4AJV	-360089.47	-80449.57	193.855	4350804.527	3078060.821	3492412.815
4P9M	-344683.23	-90902.17	516.002	4346325.124	3094225.232	3484340.280
24PL	-361142.42	-102680.06	280.097	4360964.279	3084979.797	3473869.280

Для получения параметров преобразования использовалось программное обеспечение Topcon Magnet Tools. Первым шагом сделан ввод скорректированных координат четырех точек (в системе ITRF2014). При этом выделяются плановые координаты. Следующим шагом являлся ввод локальных стереографических координат этих точек (МСК). Из-за от-

сутствия данных нивелирования в районе исследования, при расчетах параметров преобразования использовалась эллипсоидная высота WGS84, полученная в системе ITRF2014. Далее в опции «Преобразование датума» (Datum Transformation) генерируются семь параметров преобразования Гельмерта с использованием метода наименьших квадратов:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} = \begin{bmatrix} DX \\ DY \\ DZ \end{bmatrix} + \left(1 + \text{шкала} \cdot 10^{-6}\right) \cdot \begin{bmatrix} 1 & RZ & -RY \\ -RZ & 1 & RX \\ RY & -RX & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{местный датум}},$$

где DX – смещения по оси X в метрах относительно МСК; DY, DZ – смещения по оси Y и по оси Z; RX, RY, RZ – углы поворотов вокруг соответствующих осей в угловых секундах; шкала (scale) – масштабный коэффициент в единицах миллиона.

Расчет параметров преобразования между координатами точек в разных системах координат получил название «локализация» (Localization). Результатами локализации по четыре точкам являются десять параметров: «DX», «DY» – горизонтальное относительное смещение двух систем координат (относительно друг друга); «H0» – вертикальное смещение систем координат относительно друг друга; «Шкала» (Scale) – масштабный коэффициент; «Вращение» (Rotation) – угол разворота относительно друг друга; «Отклонение север» (Deflection North), «Отклонение восток» (Deflection East) – величины прогиба,

«N Остаточный» (N Residual), «E Остаточный» (E Residual) – поправки в горизонтальной плоскости и «Ht Остаточный» (Ht Residual) – поправка для вертикальной плоскости. На рис. 2, 3 показаны параметры локализации в северной и южной зоне соответственно.

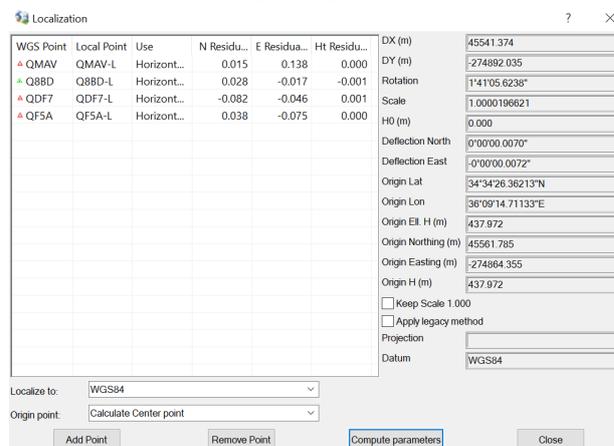


Рис. 2. Параметры локализации для северного региона

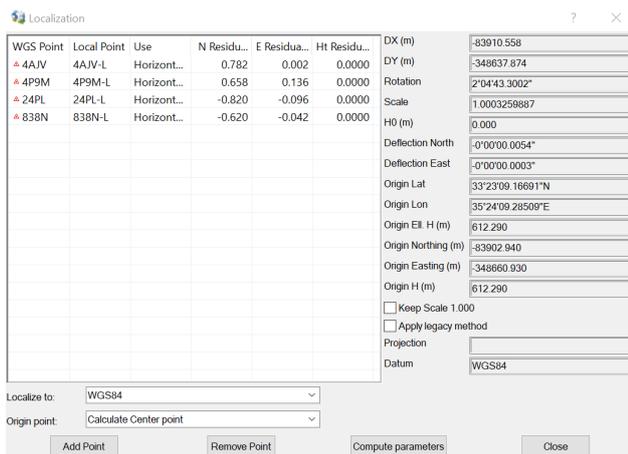


Рис. 3. Параметры локализации для южного региона

Опция «Преобразование датума» позволяет переопределить параметры существующего набора (датума) относительно WGS84 для локальной (рассматриваемой) области. Для преобразования датума необходимо иметь два набора координат для трех или более точек: один набор в системе координат WGS-84, а другой набор в локальной системе координат (МСК). На рис. 4, 5 показаны семь параметров преобразования, сгенерированных для северного и южного регионов.

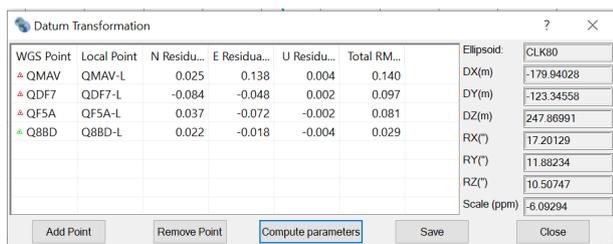


Рис. 4. Сгенерированные параметры трансформации для северного региона

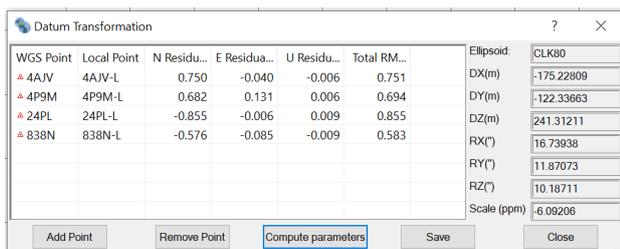


Рис. 5. Сгенерированные параметры трансформации для южного региона

Для оценки полученных результатов были проведены контрольные измерения. В качестве испытуемых точек были выбраны четыре из существующей геодезической сети, расположенных на северо-востоке Ливана (рис. 6). В статическом режиме приемника ГНСС проведены определения координат точки NBKV, которая была выбрана в качестве контрольной точки. Далее проведено корректирование остальных трех точек (см. рис. 6) на основе параметров преобразования.

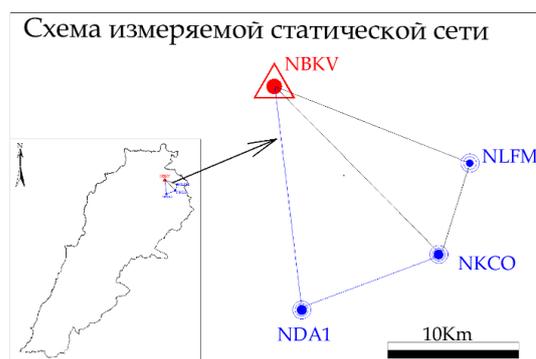


Рис. 6. Схема измеряемой статической сети ГНСС

Корректировка производилась по трем вариантам: сначала применялись параметры преобразования, принятые УГД, затем применялись параметры, сгенерированные для южного региона (см. рис. 5), и, наконец, параметры, сгенерированные для северного региона (см. рис. 4). Полученные результаты сравнивались с координатами трех точек (NDA1, NKCO, NLFM), которые получены спутниковыми определениями с уточнением в системе ITRF2014. Результаты сравнения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнения плановых положений точек

Точка	Рассматриваемые варианты		
	Вся территория Ливана (УГД)	Южная зона	Северная зона
NDA1	0.114 м	0.128 м	0.103 м
NKCO	0.043 м	0.058 м	0.038 м
NLFM	0.046 м	0.060 м	0.035 м

Заключение

Результаты исследований показывают, что можно получить высокоточные геоцентрические координаты, а также координаты в МСК с использованием готовых сервисов (например, ITRF2014, AUSPOS, Topcon Magnet Tools), в которых реализована в автоматизированном режиме цепочка необходимых процедур. Вместе с тем, представленный инструментарий эффективно использовать для построения геодезических сетей

различного назначения. В статье показано, что при сравнении координат точек, полученных по разным вариантам позиционные, различия точек существенно отличаются друг от друга. Наиболее точные результаты получаются при использовании параметров ближайшей к исследуемой территории зоны. В нашем случае это северная зона. В этой связи, исследования будут продолжены для создания зональных параметров преобразования с охватом всей территории Ливана.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шендрик Н. К. Методика преобразования трехмерных положений пунктов между геоцентрическими и референсными системами координат для региональных территорий // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 57–67. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-57-67.
2. Косарев Н. С. ГНСС-наблюдения на геодинамическом полигоне нефтегазового месторождения: методика, обработка данных и их анализ // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 18–29. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-18-29.
3. Бовшин Н. А. Методы длиннобазисной геодезической GNSS-привязки в системе координат ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 5–16. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-5-16.
4. Кравчук И. М., Пшеничная М. М. Особенности использования вспомогательных систем координат. Известия вузов // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2020. – Т. 64, № 2. – С. 141–144. – DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-141-144.
5. Обиденко В. И., Горобцов С. Р. Преобразования пространственных данных в государственную геодезическую систему координат 2011 года в ПО ГИС // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 5–27. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-27-39.
6. Карпик А. П., Обиденко В. И., Побединский Г. Г. Исследование потребности федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации в пространственных данных // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82, № 2. – С. 49–63. – DOI 10.22389/0016-7126-2021-968-2-49-63.
7. Худяков Г. И., Макаров Г. В. Использование аффинных преобразований при локальных геодезических съемках с помощью GPS-приёмников // Записки Горного института. – 2013. – № 204. – С. 15–18.
8. Корнилов Ю. Н., Царёва О. С. Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81, № 4. – С. 9–18. – DOI : 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18.
9. Степанова О. С., Макаров Г. В. Методика геодезических наблюдений за деформациями Морского Никольского Собора в Кронштадте. // Записки Горного института. – 2013. – № 204 – С. 52–57.
10. Кузин А. А., Филиппов В. Г. Разработка алгоритма выбора метода и геодезического оборудования в зависимости от скорости оползневых смещений на примере Миатлинской ГЭС // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 22–37. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-22-37.
11. Kuzin A. A., Palkin P. O. Coordinate method for determining position in geodetic monitoring of cracks // Journal of Physics: Conference Series – 2021. – Vol. 1728, No. 1, – P. 012010. – DOI 10.1088/1742-6596/1728/1/012010.

12. Valkov V. A., Kuzin A. A., Kazantsev A. I. Calibration of digital non-metric cameras for measuring works // *Journal of Physics: Conference Series* – 2018. – Vol. 1118, No. 1 – P. 012044. – DOI 10.1088/1742-6596/1118/1/012044.
13. Osipov A., Dmitriev V., Kovyazin V., Romanchikov A. Cartographo-Mathematical Modelling of Landscape Diversity for Land Use Planning Purposes // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* – 2020. – Vol. 574, No. 1 – P. 012058. – DOI 10.1088/1755-1315/574/1/012058.
14. Волкодаева М. В. Использование геоинформационных технологий для задач оптимизации размещения станций мониторинга качества атмосферного воздуха [электронный ресурс] // *Записки Горного института*. – 2015. – Т. 215 – С. 107–114.
15. Шарафутдинова А. А., Брынть М. Я. Методика проектирования и построения геодезической сети при наземном лазерном сканировании крупных промышленных объектов. // *Вестник СГУГиТ*. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 72–85. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-72-85.
16. Обиденко В. И. О сохранении фондов пространственных данных, созданных в СК-95, при переходе к ГСК-2011 // *Вестник СГУГиТ*. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 30–43. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43.
17. Мареев А. В. Результаты исследования матриц деформаций координатной основы СК-42 // *Геодезия и картография*. – 2023. – № 7. – С. 14–23. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-997-7-14-23.
18. Кравчук И. М., Пшеничная М. М. Особенности использования вспомогательных систем координат. // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2020. – Т. 64, № 2. – С. 141–144. – DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-141-144.
19. Терещенко В. Е., Радченко А. В., Мелкий В. А. Глобальная система отсчета и ее локальная реализация – государственная система координат 2011 года // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 89–106. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-89-106.
20. Ганагина И. Г., Челнокова Д. С., Голдобин Д. Н. Создание модели квазигеоида на локальном участке средствами ГИС // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 14–25. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-14-25.
21. Sebahattin B. A new algorithm for 3D similarity transformation with dual quaternion // *Arabian journal of geosciences*. – 2022. – 15.14. – P. 1273. – DOI 10.1007/s12517-022-10457-z.
22. Kanushin V. F., Ganagina I. G., Goldobin D. N. Modeling of Quasigeoid Heights in the Earth's Local Surface Areas Based on the Results of the Expansion in a Generalized Fourier Series // *Gyroscopy and Navigation*. – 2021. – 12. – P. 61–68. – DOI 10.1134/S2075108721010065.
23. Мустафин М. Г., Мусса Х. И. Результаты создания высотной основы с использованием локальной модели квазигеоида на территории Республики Ливан // *Геодезия и картография*. – 2024. – № 3. – С. 6–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1005-3-6-13.
24. Kheloufi N., Abdellatif D. Some mathematical assumptions for accurate transformation parameters between WGS84 and Nord Sahara geodetic systems [Electronic resource] // *Journal of Geodetic Science*. – 2023. – 13.1. – P. 20220160. – URL: <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0160>.
25. Ruffhead A. C. Derivation of rigorously-conformal 7-parameter 3D geodetic datum transformations // *Survey Review*. – 2021. – 53.376. – P. 8–15. – URL: <https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1665614>.
26. Bulbul S. B., Bilgen C. I. The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions [Electronic resource] // *Measurement*. – 2021. – 171. – P. 108780. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108780>.
27. Mustafin M., Moussa H. Accurate Height Determination in Uneven Terrains with Integration of Global Navigation Satellite System Technology and Geometric Levelling: A Case Study in Lebanon // *Computation*. – 12(3), 58. – DOI 10.3390/computation12030058.

Об авторах

Мурат Газизович Мустафин – доктор технических наук, заведующий кафедрой инженерной геодезии.

Мохамад Насруллах – аспирант кафедры инженерной геодезии.

Получено 05.03.2024

© М. Г. Мустафин, Насруллах Мохамад, 2024

Experience in adjusting the planned position of geodetic network points using satellite definitions and converting coordinates to the Clark ellipsoid

M. G. Mustafin¹✉, Mohamad Nasrullah¹

¹ St. Petersburg Mining University, 199106 St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: mustafin_m@mail.ru

Abstract. The use of the Global Navigation Satellite System (GNSS) has significantly transformed geodetic work and, of course, increased its accuracy. An important task in this case is the adjustment of local coordinate systems (MCS), which is constantly carried out in our country. In addition, work is being carried out to clarify state geodetic networks. In this regard, it is of interest to describe the methodology for transforming coordinates in the Lebanese Republic. When analyzing existing geodetic networks, it was discovered that according to satellite determinations of the coordinates of points of first- and second-order networks and their conversion using the accepted parameters of the Helmert transformation into the national coordinate system, positional errors (RMSE relative to the starting points) turned out to be from 20 cm to 75 cm. Despite the fact that the geodetic network in Lebanon was created about 100 years ago using the triangulation method, such errors are certainly not acceptable. The article provides an analysis of the current state of the Lebanese stereographic coordinate system (Clark 1880 ellipsoid). A technique is presented for correcting the coordinates of ICS points by using satellite determination data, their processing in the International Terrestrial Reference Frame (ITRF2014) and adjustment using Topcon Magnet Tools software. Data conversion parameters differ in the southern and northern regions, so they are considered separately.

Keywords: global navigation satellite systems, coordinate transformation, stereographic projection, reference ellipsoid, world geodetic system, precision point positioning (PPP)

REFERENCES

1. Shendrick, N. K. (2023). Methodology for converting three-dimensional positions of points between geocentric and reference coordinate systems for regional territories. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(28), 57–67 DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-57-67 [in Russian].
2. Kosarev, N. S. (2022). GNSS observations at a geodynamic site of an oil and gas field: methodology, data processing and analysis. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(27), 18–29 DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-18-29 [in Russian].
3. Bovshin, N. A. (2021). Methods of long-baseline geodetic GNSS-referencing in the GSK-2011 coordinate system Nikolay Aleksandrovich. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 6(26), 5–16 DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-5-16 [in Russian].
4. Kravchuk, I. M., & Pshenichnaya, M. M. (2020). Features of using auxiliary coordinate systems. News of higher educational institutions. *Izvestiya vuzov Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2(64), 141–144 DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-141-144 [in Russian].

5. Obidenko, V. I., & Gorobtsov, S. R. (2021). Converting spatial data into the 2011 state geodetic coordinate system using GIS. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 5(26), 5–27 [in Russian]. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-27-39.
6. Karpik, A. P., Obidenko, V. I., & Pobedinsky, G. G. (2021). Study of the needs of federal executive authorities of the Russian Federation for spatial data. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 2(82), 49–63. DOI 10.22389/0016-7126-2021-968-2-49-63 [in Russian].
7. Khudyakov, G. I., & Makarov, G. V. (2013). The use of affine transformations in local geodetic surveys using GPS receivers. *Zapiski Gornogo Instituta [Notes of the Mining Institute]*, 204, 15–18. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-affinnyh-preobrazovaniy-pri-lokalnyh-geodezicheskikh-semkah-s-pomoschyu-gps-priyomnikov> [in Russian].
8. Kornilov, Yu. N., & Tsareva, O. S. (2020). Improvement of methods for observing deformations of buildings and structures. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 4(81), 9–18. DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18 [in Russian].
9. Stepanova, O. S., & Makarov, G. V. (2013). Methodology for geodetic observations of deformations of the Naval St. Nicholas Cathedral in Kronstadt. *Zapiski Gornogo Instituta [Notes of the Mining Institute]*, 204, 52–57. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-geodezicheskikh-nablyudeniy-za-deformatsiyami-morskogo-nikolskogo-sobora-v-kronshtadte> [in Russian].
10. Kuzin, A. A., & Filippov, V. G. (2023). Development of an algorithm for choosing a method and geodetic equipment depending on the speed of landslide displacements using the example of the Miatlinskaya HPP. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(28), 22–37. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-4-22-37 [in Russian].
11. Kuzin, A. A., & Palkin, P. O. (2021). Coordinate method for determining position in geodetic monitoring of cracks. *Journal of Physics: Conference Series*, 1728(1), 012010. DOI 10.1088/1742-6596/1728/1/012010.
12. Valkov, V. A., Kuzin, A. A., & Kazantsev, A. I. (2018). Calibration of digital non-metric cameras for measuring works. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1118 (1), 012044. DOI 10.1088/1742-6596/1118/1/012044.
13. Osipov, A., Dmitriev, V., Kovyazin, V., & Romanchikov, A. (2020). Cartographo-Mathematical Modelling of Landscape Diversity for Land Use Planning Purposes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 574(1), 012058. DOI 10.1088/1755-1315/574/1/012058.
14. Volkodaeva, M. V. (2015). The use of geoinformation technologies for optimizing the placement of atmospheric air quality monitoring stations. *Zapiski Gornogo Instituta [Notes of the Mining Institute]* Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-geoinformatsionnyh-tehnologiy-dlya-zadach-optimizatsii-razmesheniya-stantsiy-monitoringa-kachestva-atmosferного> [in Russian].
15. Sharafutdinova, A. A., & Bryn, M. Ya. (2022). Methodology for designing and constructing a geodetic network for ground-based laser scanning of large industrial facilities. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(27), 72–85. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-72-85 [in Russian].
16. Obidenko, V. I. (2022). On the preservation of spatial data funds created in SK-95 during the transition to GSK-2011. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(27), 30–43. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43 [in Russian].
17. Mareev, A. V. (2023). Results of the study of deformation matrices of the SK-42 coordinate base. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 14–23. DOI 10.22389/0016-7126-2023-997-7-14-23 [in Russian].
18. Kravchuk, I. M., & Pshenichnaya, M. M. (2020). Features of the use of auxiliary coordinate systems. News of higher educational institutions. *Izvestiya vuzov Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2(64), 141–144. DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-141-144 [in Russian].

19. Tereshchenko, V. E., Radchenko, A. V., & Melky, V. A. (2020). Global reference system and its local implementation - state coordinate system of 2011. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(25), 89–106 DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-89-106 [in Russian].
20. Ganagina, I. G., Chelnokova, D. S., & Goldobin D. N. (2020). Creation of a quasi-geoid model on a local area using GIS. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(25), 14–25. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-14-25 [in Russian].
21. Sebahattin, B. (2022). A new algorithm for 3D similarity transformation with dual quaternion. *Arabian journal of geosciences*, 15.14, 1273. DOI 10.1007/s12517-022-10457-z.
22. Kanushin, V. F., Ganagina, I. G., & Goldobin, D. N. (2021). Modeling of Quasigeoid Heights in the Earth's Local Surface Areas Based on the Results of the Expansion in a Generalized Fourier Series. *Gyroscopy and Navigation*, 12, 61–68. DOI 10.1134/S2075108721010065.
23. Mustafin, M. G., & Moussa, Kh. I. (2024). Results of creating a high-altitude base using a local quasi-geoid model on the territory of the Republic of Lebanon. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 3, 6–13. DOI 10.22389/0016-7126-2024-1005-3-6-13 [in Russian].
24. Kheloufi, N., & Abdellatif, D. (2023). Some mathematical assumptions for accurate transformation parameters between WGS84 and Nord Sahara geodetic systems. *Journal of Geodetic Science*, 13.1, 20220160. Retrieved from <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0160>.
25. Ruffhead, A. C. (2021). Derivation of rigorously-conformal 7-parameter 3D geodetic datum transformations. *Survey Review*, 53.376, 8–15. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1665614>.
26. Bulbul, S. B., & Bilgen, C. I. (2021). The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. *Measurement*, 171, 108780. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108780>.
27. Mustafin, M., & Moussa, H. (2024). Accurate Height Determination in Uneven Terrains with Integration of Global Navigation Satellite System Technology and Geometric Levelling: A Case Study in Lebanon. *Computation*, 12(3), 58. DOI 10.3390/computation12030058.

Author details

Murat G. Mustafin – D. Sc., Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy.
Mohamad Nasrullah – Ph. D. Student.

Received 05.03.2024

© M. G. Mustafin, Nasrullah Mohamad, 2024